



# **Analýza vlivu ošetření formy mikropostřikem ve vztahu ke kvalitě odlitku bloku motoru 1.0. MPI EVO**

## **Bakalářská práce**

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Patrik Fiebiger**  
*Vedoucí práce:* Ing. Iva Nováková, Ph.D.





## Zadání bakalářské práce

# Analýza vlivu ošetření formy mikropostřikem ve vztahu ke kvalitě odlitku bloku motoru 1.0. MPI EVO

*Jméno a příjmení:* **Patrik Fiebiger**  
*Osobní číslo:* S15000051  
*Studijní program:* B2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Strojní inženýrství  
*Zadávající katedra:* Katedra strojírenské technologie  
*Akademický rok:* **2018/2019**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s technologií výroby odlitků vysokotlakým litím.
2. Prostudujte problematiku ošetření líce tlakové lící formy.
3. Dále se zaměřte na konstrukci temperačních systémů vysokotlakých forem.
4. Ve spolupráci s firmou Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav pro vysokotlakou formu bloku motoru 1.0 MPI EVO proveďte experimenty zaměřené na stanovení vlivu nastavení ošetřovacího zařízení na kvalitu odlitku.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a formulujte dílčí závěry.

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy  
Rozsah pracovní zprávy: cca 30  
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



#### Seznam odborné literatury:

- [1] RAGAN, E. a kol. *Liatie kovov pod tlakom*, 1. vyd., Prešov: Vydavateľstvo Michala Vaška, 2007. ISBN 978-80-8073-979-9.
- [2] VALECKÝ, J. a kol. *Lití kovů pod tlakem*. 1.vyd., Praha: SNTL, 1963.
- [3] NOVÁKOVÁ, I. *Tepelné a tlakové poměry v soustavě odlitek-forma při vysokotlakém lití slitin hliníku s křemíkem*. Liberec, 2006. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [4] ŠTROBACH, V. *Vliv teplotních režimů formy na jakost vysokotlakých odlitků*. Liberec, 2011. Doktorská disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [5] NOGOWIZIN, B. *Theorie un Praxis des Druckgusses*. Berlin: Schiele & Schön, 2011. ISBN 978-3-7949-0796-0.
- [6] MACHUTA, J. a I. NOVÁ. *Slévárenské formy*. Liberec: TUL, 2014. ISBN: 978-80-7494-083-5.
- [7] RUŽBARSKÝ, J. a kol. *Techniques of die casting*. 1. vyd. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2014. ISBN 978-3-942303-29-3.
- [8] Časopisy: Slévárenství, Giesserei, atd.

Vedoucí práce: Ing. Iva Nováková, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

Konzultant práce: Ing. Ondřej Řídký  
Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav

Datum zadání práce: 31. října 2018

Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2020

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

V Liberci 1. listopadu 2018



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

26. 6. 2019

Patrik Fiebiger

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou vlivu ošetření formy mikropostřikem ve vztahu ke kvalitě odlitku bloku motoru 1.0. MPI EVO. Teoretická část se věnuje obecnému popisu tlakového lití a jeho periferií, především pak termoregulačnímu systému formy a metodám ošetření líce formy, neboť tyto součásti jsou úzce spjaty s experimentální částí práce. Experimentální část probíhala ve spolupráci se společností Škoda Auto a.s. a zabývá se analýzou vlivu ošetření formy mikropostřikem na výslednou kvalitu odlitku. Cílem této práce je určení zmetkovitosti odlévaného bloku v závislosti na použité technologii ošetření líce formy.

## **Klíčová slova**

chladicí systém, konvenční způsob ošetření, lící forma, mikropostřik, temperační systém, vysokotlaké lití, zmetkovitost

## **Annotation**

This bachelor thesis deals with the analysis of influence treating the die casting mold by micro-spraying in relation to the quality of the cast of engine block. Theoretical part devotes to general description of die casting and its parts, primarily to the thermoregulation system of casting mold and methods of treating the obverse casting mold, because these components are closely connected to experimental part of this thesis. Experimental part took place in cooperation at Škoda Auto a.s. and deals with the analysis of influence treating the decasting mold microspraying to final quality of the cast. The main goal of this thesis is to determine the wastage rate of the casted block depending on the technology which was used for treating the obverse casting mold.

## **Key Words**

cooling system, conventional method of treatment, casting mold, micro-spraying, tempering system, die casting, wastage rate

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Ivě Novákové, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům slévárny Škoda Auto a.s. za ochotu a pomoc při realizaci experimentů, především pak Ing. Ondřeji Řidkému.

# Obsah

<b>Seznam zkratek .....</b>	<b>9</b>
<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>2. TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Vysokotlaké lití.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Formy pro vysokotlaké lití .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Temperace a chlazení tlakové formy .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Temperace jader a tenkých míst vložek .....	17
2.3.2 Chlazení jader – Jet-cooling .....	19
2.3.3 Tepelná bilance formy .....	21
<b>2.4 Ošetření líce formy .....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Konvenční způsob ošetření líce formy .....	26
2.4.2 Mikropostřik.....	30
<b>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Lící buňka .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Chlazení a temperace .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 Ošetření líce tlakové lící formy pomocí mikropostřiku .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4 Analýza zmetkovitosti.....</b>	<b>52</b>
<b>4. DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>58</b>
<b>5. ZÁVĚR .....</b>	<b>61</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>63</b>



## Seznam zkratek

$Q$	– celkové teplo předané z odlitku do formy [J]
$Q_{sál}$	– teplo odvedené do okolí sáláním [J]
$Q_{pr}$	– teplo odvedené do okolí prouděním [J]
$Q_{str}$	– teplo odvedené vedením do rámu stroje [J]
$Q_t$	– teplo odvedené temperačním systémem [J]
$Q_p$	– teplo odvedené separačním prostředkem [J]
$Q_{píst}$	– teplo odvedené pístem stroje [J]
$Q_{př}$	– teplo uvolněné z přehřáté taveniny [J]
$Q_{kr}$	– teplo uvolněné při tuhnutí taveniny [J]
$Q_{chl}$	– teplo uvolněné při chladnutí odlitku [J]
$Q_{tř}$	– teplo vzniklé třením pístu [J]
$m$	– hmotnost taveniny [kg]
$c_L$	měrná tepelná kapacita taveniny [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$T_{lití}$	– teplota lití [ $^{\circ}C$ ]
$T_{kr}$	– teplota krystalizace taveniny [ $^{\circ}C$ ]
$L_{kr}$	– měrné latentní krystalizační teplo taveniny [ $J \cdot kg^{-1}$ ]
$c_s$	– měrná tepelná kapacita materiálu v tuhém stavu [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$T_{ok}$	– teplota odlitku po vyjmutí [ $^{\circ}C$ ]
$\alpha_v$	– součinitel přestupu tepla vedením z povrchu formy do rámu stroje [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
$T_{fs}$	– teplota vnějšího povrchu formy, který je ve styku se strojem [ $^{\circ}C$ ]
$T_{ps}$	– teplota povrchu rámu stroje, který je ve styku s formou [ $^{\circ}C$ ]
$S_{st}$	– plocha styku formy s rámem stroje [ $m^2$ ]
$t_{cykl}$	– čas licího cyklu [s]
$\alpha_p$	– součinitel přestupu tepla prouděním [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
$T_{pf}$	– teplota vnějšího povrchu formy [ $^{\circ}C$ ]
$S_{fo}$	– plocha styku formy s okolím [ $m^2$ ]
$T_o$	– teplota okolí [ $^{\circ}C$ ]
$\Sigma$	– Stefan – Boltzmannova konstanta ( $5,67 \cdot 10^8$ [ $W \cdot m^2 \cdot K^{-4}$ ])
$\varepsilon$	– emisivita [-]

$\alpha_t$	– součinitel přestupu tepla vedením mezi povrchem tvarové dutiny formy a temperačním médiem [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
$T_{\text{spd}}$	– střední teplota dutiny formy [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_{\text{tm}}$	– střední teplota temperačního média [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$S_k$	– teplosměnný povrch temperačního kanálu [ $\text{m}^2$ ]
$m_p$	– hmotnost použitého postřiku [ $\text{kg}$ ]
$c_p$	– měrná tepelná kapacita postřiku [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
$T_v$	– teplota vypařování kapalně fáze postřiku [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_{\text{pp}}$	– počáteční teplota postřiku [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$L_{\text{vp}}$	– měrné skupenské teplo vypařování kapalně fáze postřiku [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

# 1. ÚVOD

Vysokotlaké lití je metoda výroby odlitků z neželezných slitin vhodná pro výrobu rozměrově i hmotnostně menších, tenkostěnných, konstrukčně složitých dílů s přesnými rozměry a vysokou kvalitou povrchu. To vše při krátkých výrobních cyklech a vysoké produktivitě výroby, díky čemuž je tato metoda hojně využívána v široké průmyslové praxi, především pak v automobilovém průmyslu. Kromě již zmíněných výhod má bohužel tato technologie i své zápory, jednou z hlavních nevýhod jsou vysoké pořizovací náklady na stroj a formu, dalšími nevýhodami jsou nižší vnitřní homogenita odlitků a limitovaná životnost formy. Je snaha tyto nevýhody eliminovat a dosáhnout, jak lepší výsledné kvality odlitku, tak zároveň prodloužit životnost formy.

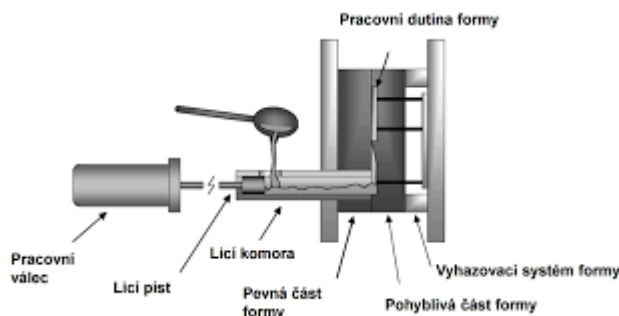
Kvalita vysokotlakých odlitků je ovlivněna celou řadou faktorů, jako např. kvalitou taveniny, technologickými parametry, konstrukcí tlakové lící formy (návrhem vtokového, odvzdušňovacího a temperačního systému), ale i způsobem ošetření jejího líce dělicím prostředkem, atd. Pro ošetření líce tlakové lící formy je nejčastěji využíván separační prostředek v určitém poměru ředitelný vodou. V případě tohoto způsobu ošetření je problematické správně stanovit množství použitého separátoru, aby nedocházelo na jedné straně k nalepování taveniny na líc formy a na druhé straně v dutině formy nezůstávala voda, která následně vede ke zvýšení porezity odlitků. Vzhledem ke zvyšování kvalitativních požadavků na tlakové odlitky je v současné době snaha nahradit tento nejrozšířenější způsob ošetření líce formy novým způsobem ošetření, tzv. mikropostřikem, který využívá pouze koncentráту dělicího prostředku. Aplikace nového způsobu ošetření by měla zvýšit kvalitu odlitku, vést ke zkrácení lícího cyklu stroje, prodloužit životnost formy a snížit ekologickou zátěž.

Cílem předložené bakalářské práce je v rámci spolupráce se společností Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi, která zavádí ošetření líce tlakové lící formy tzv. mikropostřikem do praxe, stanovit vliv nastavení nového ošetřovacího zařízení na kvalitu tlakového odlitku bloku motoru 1.0. MPI EVO.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Vysokotlaké lití

Technologie vysokotlakého lití se dělí podle typu lící komory na stroje s teplou a studenou lící komorou. Slitiny hliníku se v současnosti téměř výhradně odlévají na strojích se studenou horizontální komorou. Schéma takového stroje popisuje obr. 1. [1]



*Obr. 1 Schéma stroje pro tlakové lití [8]*

Celý cyklus výroby odlitku začíná uzavřením stroje a následným ošetřením dělicí roviny formy pomocí separačního prostředku. Tento krok zajistí bezproblémové oddělení odlitku od formy po jeho úplném ztuhnutí a ochlazení na požadovanou teplotu. Následně dochází k dávkování potřebného množství roztaveného kovu do lící komory. Dávkování může být prováděno manuálně, u současných strojů je však automatické a lze jej realizovat buď plnicí lžící nebo pneumatickým dávkovacím zařízením z udržovací nebo dávkovací pece, která je součástí každého pracoviště tlakového stroje. [2]

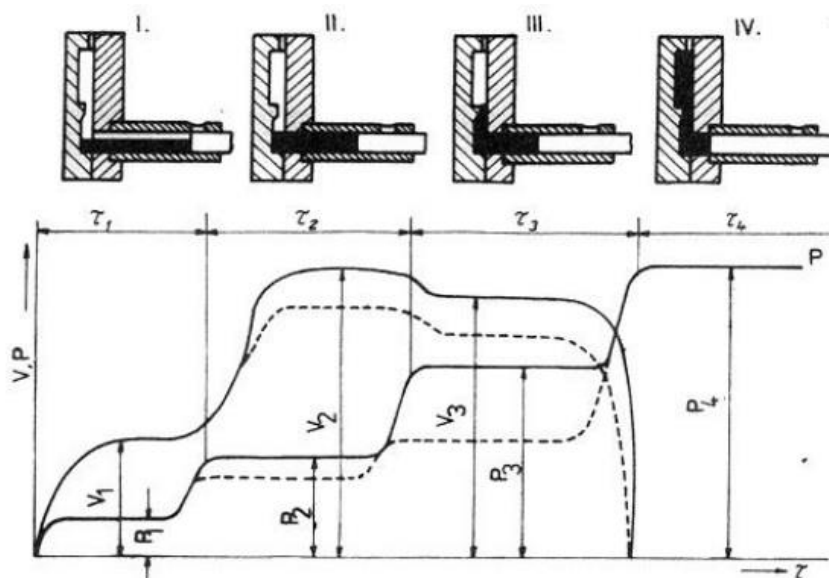
Roztavený kov se vtlačuje do dutiny slévárenské formy pístem. Plnění dutiny formy roztaveným kovem při tlakovém lití je rozděleno na tři fáze, které jsou znázorněny na obr. 2.

Při začátku vstřikování, tj. v první fázi, se píst rozjíždí pomalou rychlostí, aby nedošlo k vystříknutí kovu z dávkovacího otvoru. Píst se pohybuje rychlostí cca 0,1 – 0,4 m/s. Zakryje dávkovací otvor, pokračuje dále, až se tekutý kov dostane do blízkosti naříznutí a lící komora je úplně zaplněna roztaveným kovem. Tato fáze má zajistit, aby se kov nezvířil a neabsorboval vzduch, který se nachází v lící komoře. [4]

Ve druhé fázi píst akceleruje na vyšší rychlost, kde tekutý kov protéká přes naříznutí do dutiny formy. Teoreticky by start této fáze měl nastat na dráze pístu, kdy kov dosáhl

vtokového naříznutí. V praxi bývá začátek fáze lisování jak před naříznutím, tak i za naříznutím do odlitku. Tento druhý pohyb pístu se nazývá zdvih plnění nebo lisování. Rychlost pohybu pístu v této fázi je cca 2–4 m/s. Dochází také k nárůstu plnicího tlaku na 60 až 120 bar. Fáze lisování trvá až do úplného zastavení pístu, kdy je dutina formy kompletně zaplněná kovem. [3, 4]

V poslední fázi po zaplnění dutiny formy taveninou dochází k nárůstu tlaku. Tento konečný tlak podporuje zhutnění tuhnoucího odlitku a je označován jako dotlak. Maximálního tlaku 400 až 1 200 bar po dobu 5 až 20 sekund je dosaženo pomocí multiplikátoru, který je součástí lisovací jednotky tlakového lícího stroje. Jedná se o konečné zhutnění odlitku s cílem eliminovat staženiny během tuhnutí. Je důležité, aby dotlak nastal ihned po zaplnění a nedošlo dříve ke ztuhnutí naříznutí vtokové soustavy. [3, 4]



**Obr. 2** Průběh rychlosti a tlaku v dutině formy [7]

## 2.2 Formy pro vysokotlaké lití

Na výrobu odlitků litých pod tlakem má zásadní vliv lící forma. Její správná konstrukce a nastavení všech technologických a metalurgických parametrů je pak předpokladem pro výrobu odlitků bez vad. Forma pro tlakové lití se obvykle skládá ze dvou částí, pevné a pohyblivé. Jednotlivé části formy jsou složeny z rámu a tvarových vložek. Méně namáhané části formy (např. rám) se vyrábějí z konstrukčních legovaných ocelí (1.2311, 1.2312).

Nejvíce namáhané části formy (např. tvarové vložky, jádra, vyhazovače, vedení) jsou vyrobeny z legovaných nástrojových ocelí určených pro práci za tepla (např. BOHLER W302 ISOBLOCK, UDDEHOLM DIEVAR) s následným tepelným zpracováním popř. povrchovou úpravou. DIEVAR je speciálně vyvinutá ocel, k jejíž výrobě jsou použity speciální postupy elektrostruskového přetavování a vakuování. Tato ocel je patentově chráněna. [12, 34]

Výroba formy pro tlakové lití je značně náročná a vyžaduje technologické, konstrukční a výrobní zkušenosti. [14, 16]

Při návrhu konstrukce tlakové licí formy je vhodné dodržet několik zásad:

- Optimalizovat odlitek pro tlakové lití (úkosy, zaoblení, ztenčení stěn atd.).
- Zvolit, které otvory budou předlity (v závislosti na průměru a délce).
- Zaformování odlitku řešit tak, aby byl při otevírání formy unášen s pohyblivou částí formy a při vyjíždění pohyblivých jader nebyl deformován.
- Zvolit způsob odvzdušnění formy, případně její vakuování.
- Určit velikost licího stroje vzhledem k potřebné uzavírací síle, licímu tlaku, velikosti formy a rozložení tahačů jader.
- Zvolit vhodný vtokový systém a průměr licí komory.
- Zvolit chlazení, případně temperování formy především s ohledem na vnitřní kvalitu odlitků.
- Zvolit materiál a zpracování tvarových částí formy s ohledem na požadovanou životnost (vyměnitelné vložky).
- Zvolit způsob ošetření formy a nanášení dělicího prostředku. [14]

Jak již bylo popsáno výše, jedním z velmi důležitých parametrů při návrhu a konstruování formy je volba její temperace a chlazení, neboť tento parametr má zásadní vliv na výslednou kvalitu odlitku.

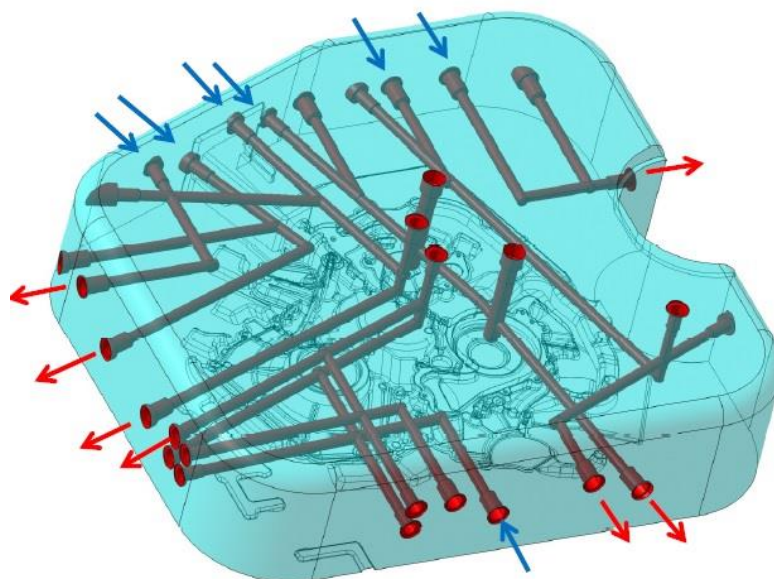
## **2.3 Temperace a chlazení tlakové formy**

Důležitým faktorem ovlivňujícím výslednou kvalitu odlitku je teplota líce formy. Je důležité, aby na jednotlivých místech líce formy nebyly velké teplotní rozdíly. Na tuto teplotu má vliv

spousta faktorů, např. druh slitiny, poměr objemu odlitku k jeho povrchu, doba licího cyklu, materiál formy, druh separačního prostředku, konstrukce temperačního systému, atd.

Teplota formy ovlivňuje zejména dobu tuhnutí odlitku, zabíhavost taveniny, schopnost separačního přípravku ulpívat na jejím povrchu a do značné míry též životnost samotné formy. [8, 23, 31] Udržováním teploty formy v optimálním teplotním poli je tedy možno předejít výskytu vad v odlitku a rovněž tak zvýšit životnost formy.

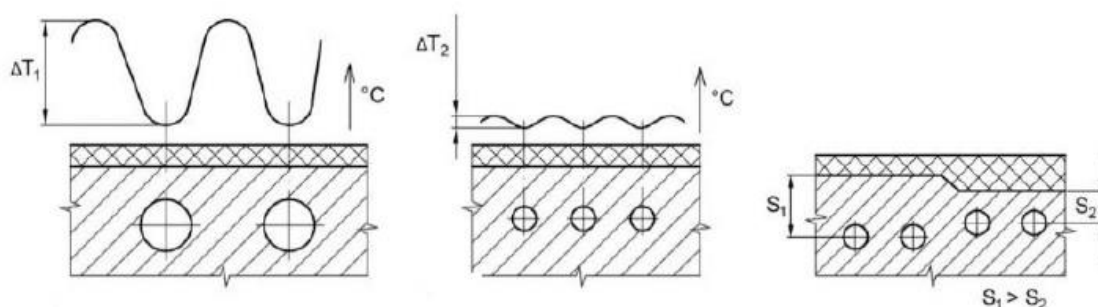
Temperace a chlazení formy je prováděno kanály, které jsou navrtané uvnitř formy. Konvenční temperační systém je tvořen kruhovými kanály vrtanými „rovnoběžně“ s dělicí rovinou formy a to jak v rámu, tak i v tvarových vložkách. Jejich rozmístění a průměr je závislý na konstrukci odlitku. Tyto kanály jsou pospojovány hadicemi do jednotlivých temperačních okruhů. Kanály jednotlivých částí formy (rám, vložky, vtok a jednotlivá jádra) bývají zapojeny do samostatných okruhů. K usměrnění toku média se pak kromě hadic využívají přepážky, ucpávky a zátky. Účinnost tohoto typu chlazení je dána několika faktory, jsou to velikost a průměr vrtání temperačních kanálů, vzdálenost kanálu od povrchu formy, druh použitého média a jeho průtok a doba chlazení. Příklad rozmístění temperačních kanálů ve tvarové vložce je ukázán na obr. 3. [28, 29]



**Obr. 3** Schéma vrtání jednotlivých temperačních kanálů [35]

Pro zajištění správné funkce temperačního systému je zapotřebí dodržovat určitá pravidla při jeho návrhu. Průměr kanálu je závislý na tloušťce stěny odlitku v daném místě formy a vzdálenost těchto kanálů od povrchu formy by měla být cca jeden a půl násobek průměru

daného kanálu. Pokud je kanál umístěn příliš daleko od povrchu formy snižuje se jeho účinnost. Naopak, je-li kanál umístěn příliš blízko povrchu formy, pnutí může vést k praskání a tedy ke snížení životnosti formy. Jak je patrné z obr. 4, je z důvodu tepelné bilance výhodnější umístit do formy větší počet kanálů s menším průřezem, které lze dle potřeby zapojit do jednoho nebo více okruhů. Jednotlivé kanály zapojené do jednoho okruhu by měly mít shodnou geometrii. Temperační médium by mělo být v okruhu vedeno tak, aby teplotní rozdíl ve směru jeho toku klesal. Aby docházelo k bezproblémovému průtoku média především v tenkých kanálech, je zapotřebí médium zbavit všech nečistot. [30]



**Obr. 4** Vliv rozložení temperačních kanálů na povrchovou teplotu formy [30]

Jako temperační médium se používá olej a voda. Rozdíl mezi těmito médii je pak především v intenzitě ochlazování či ohřevu formy. Při chlazení a temperaci formy je použito vždy jen jedno médium. Jeho volba závisí například na tloušťce chlazeného místa nebo na vzdálenosti temperačního kanálu a taveniny. Na chlazení masivnějších míst je vhodnější použití vody, naopak na slabá místa a místa kde je kanál umístěn blízko taveniny, je vhodnější použití oleje. Olej je celkově pro formu vhodnější, neboť je šetrnější. Ve formě při jeho použití nevznikají tak velké teplotní rázy, a je tak možno zvýšit životnost formy. [8, 23]

**Temperace olejem** - obvykle se pracuje s teplotami média 180 °C až 220 °C. Olej se využívá převážně k ohřevu forem u tenkostěnných odlitků. U tlustostěnných odlitků se v průběhu výroby forma ochlazuje. [15]

**Temperace vodou** – u modernějších zařízení lze vodu za vyššího tlaku používat na ohřev až do 180 °C. [15]

**Chlazení vodou** – u tohoto způsobu chlazení se pracuje s teplotou média kolem 20 °C. Ochlazují se tak přehřáté části formy (jádra, oblasti kolem vtoku, vtokové vložky). Moderní stroje umožňují chlazení vodou po celou dobu cyklu nebo jen po určitý zadaný čas, případně



přívod vody zcela zastavit (zejména na začátku výroby, kdy forma nedosahuje tak vysokých teplot, po odlití přibližně 10 až 20 odlitků je přívod vody opět spuštěn). [15]

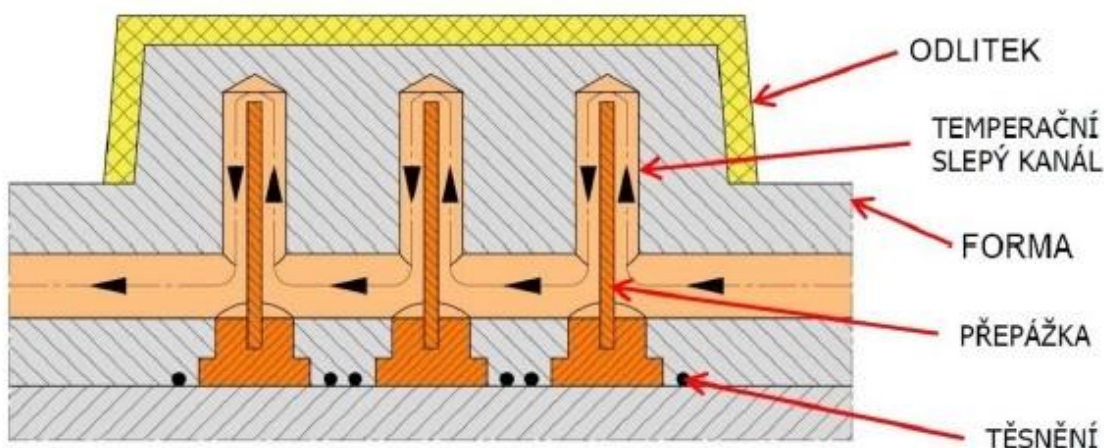
U běžného temperačního systému ovšem nastává problém v případě chlazení tenkých částí tvarových vložek a tvarově komplikovaných nebo tenkých jader, jejichž povrch je z velké části obtékán roztaveným kovem. Existuje tak několik způsobů, jak tato místa dostatečně chladit. Jejich volba závisí nejenom na chladícím účinku zvolené metody, ale i na ekonomické náročnosti zvoleného typu chlazení, náročnosti konstrukční úpravy formy a údržby chladicího systému.

### **2.3.1 Temperace jader a tenkých míst vložek**

Pro chlazení běžně špatně chladitelných míst se používají technologie bodového chlazení využívající přepážkové systémy, chlazení pomocí tepelných trubíc nebo se též využívají vložky z vysoce vodivého materiálu. Nejnovější metodou pak je patentovaná technologie zvaná Jet-cooling od německého výrobce Lethiguel.

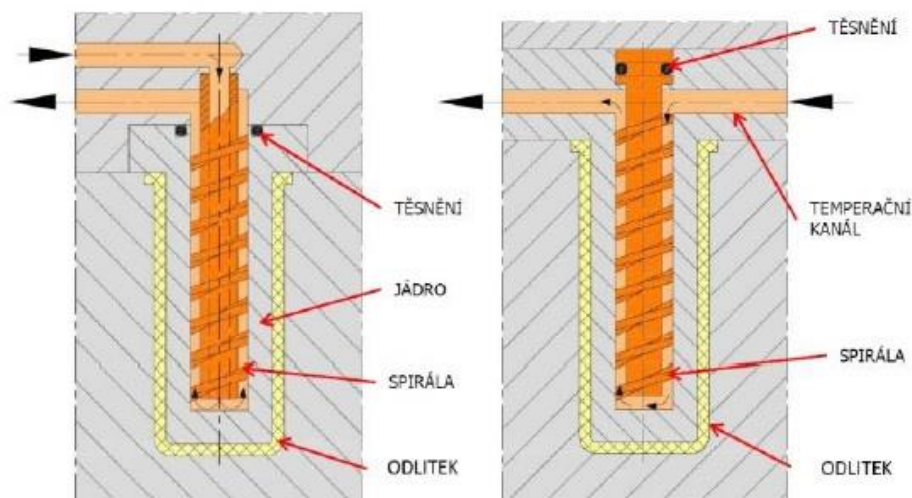
Bodového chlazení existuje několik typů, jedním z nich jsou přepážkové systémy. Princip tohoto systému spočívá v navrtání otvoru do jádra nebo tvarové vložky, do tohoto otvoru je následně vložena chladicí vložka. Na základě typu této vložky rozeznáváme systémy s plochou přepážkou, se spirálovou přepážkou nebo tzv. fontánky. Takto vytvořenými kanály pak může proudit jak olejové, tak i vodní medium. K dosažení dostatečného chladicího účinku tohoto typu chlazení je nutné zajistit těsnost vložky v otvoru. [30]

**Plochá přepážka** rozděluje vyvrtaný otvor na dva kanály polokruhového průřezu. V jedné půlce takto rozděleného kanálu proudí médium od ústí otvoru podél přepážky až k jeho vrcholu, kde přepážku obtéká a vrací se druhou půlkou kanálu ven. Pro rovnoměrný odvod tepla je důležité, aby přepážka otvor rozdělovala na dva stejně velké kanály. Princip tohoto systému je patrný z obr. 5. [30]



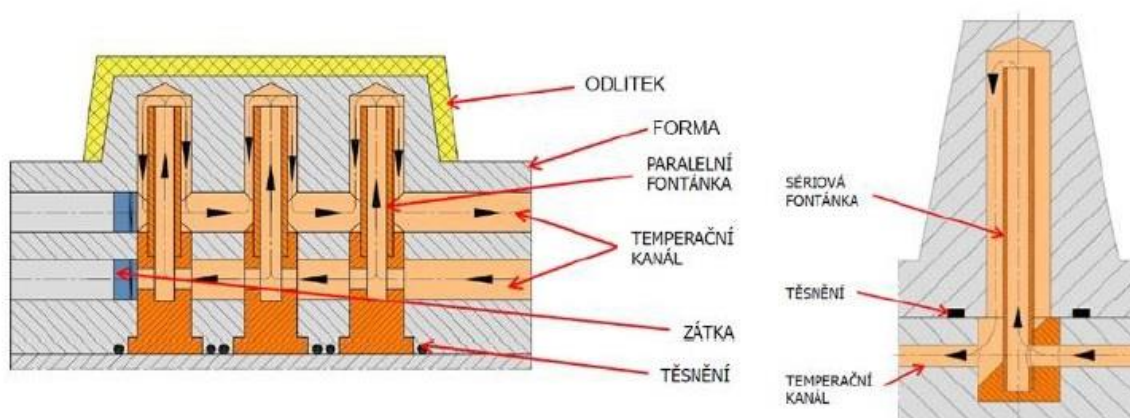
*Obr. 5 Systém plochých přepážek [30]*

Dalším možným způsobem jsou **spirálové přepážky** (tzv. temperační šneky), zde se lze setkat se dvěma typy této přepážky. Ta je buď tvořena pouze jedním vnějším závitem a vnitřním otvorem, nebo dvěma závitů. V prvním případě zajišťuje přívod média k vrcholu vnitřní otvor, jeho dovod zajišťuje závit. V druhém případě slouží jeden závit pro přívod média k vrcholu otvoru, druhý pak pro jeho odvod. Schématické znázornění obou těchto typů je na obr. 6. [30]



*Obr. 6 Systém spirálových přepážek [30]*

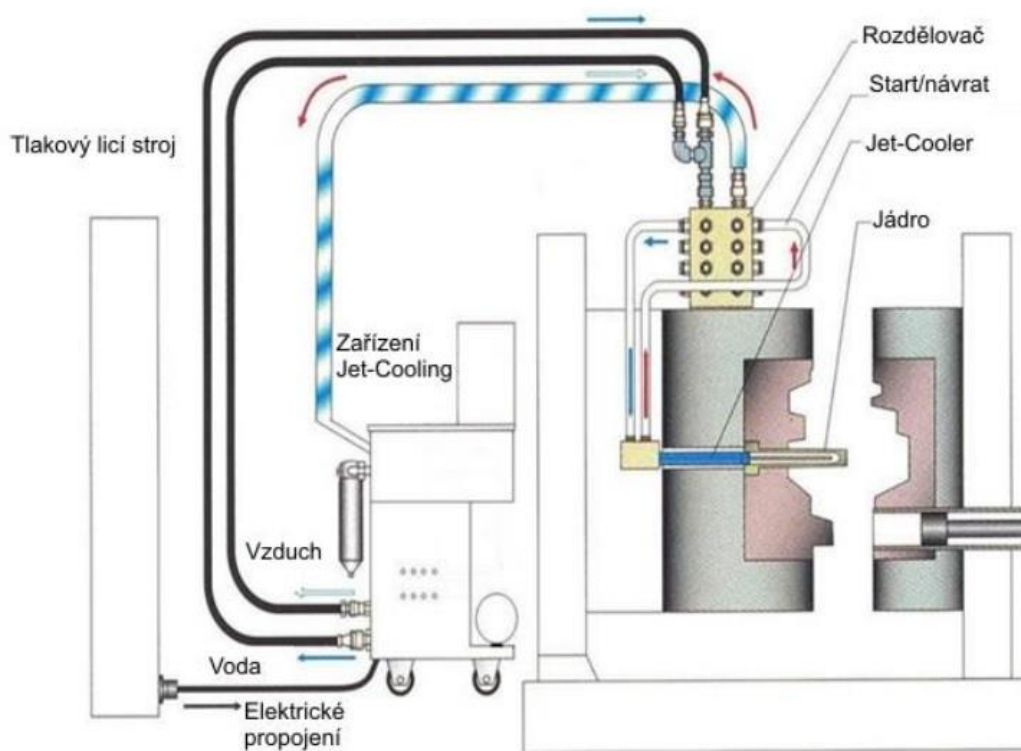
Posledním způsobem jsou tzv. **fontánky**. Jedná se o soustavu jednoho nebo více otvorů, do kterých jsou vloženy trubičky upevněné ve vložce. Tyto vložky zajišťují přívod a odvod média k vrtanému otvoru. Médium proudí vnitřní trubičkou k vrcholu otvoru a zpět teče po vnější stěně trubičky. Na obr. 7 je zobrazena paralelní a sériová fontánka, které se liší pouze ve způsobu napojení na hlavní temperační kanál. [30]



*Obr. 7 Systém fontánek – paralelní (vlevo) a sériová (vpravo) [30]*

### 2.3.2 Chlazení jader – Jet-cooling

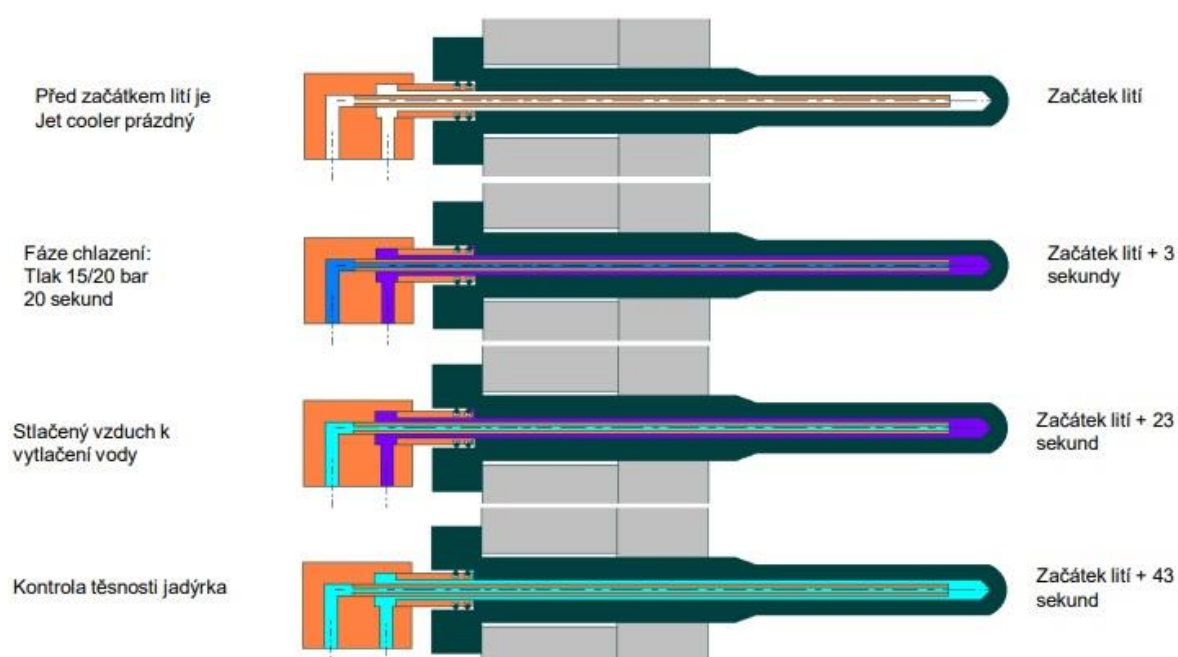
Jet-cooling je nejúčinnější řešení pro chlazení jader o malých průměrech. Jeho hlavním cílem je řídit a ovládat přestup tepla v nejmenších částech formy v průběhu tuhnutí odlitku. Znázornění principu této technologie je na obr. 8.



*Obr. 8 Souhrnný popis Jet-cooling [17]*

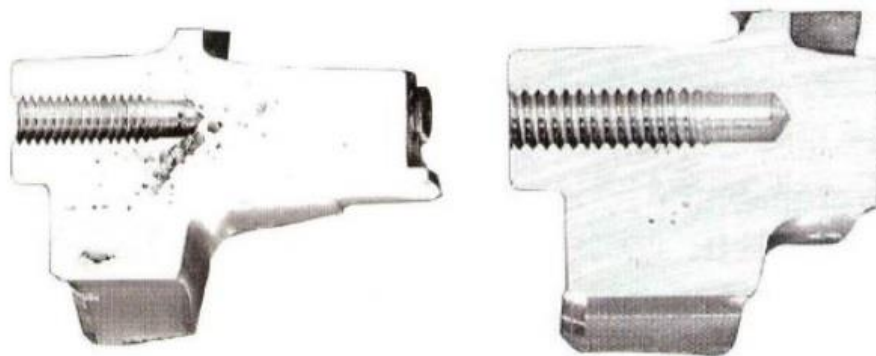
Princip této technologie spočívá ve vodou chlazeném jádře. Do jádra, které je potřeba zchladit se navrtá otvor, do kterého je vsunut jet-cooler (jehla injekční stříkačky), kterým je po velmi krátkou dobu pod vysokým tlakem přiváděna chladicí voda.

Při zahájení pohybu pístu se nastartuje zařízení s definovaným odstupem chlazení vodou pod vysokým tlakem až 20 barů hadičkou přes rozdělovač do jádra. Změnou skupenství z vody na páru se přes jádro okolnímu hliníku rychle a efektivně odebere energie, tj. sníží se teplota. Doba chlazení činí podle potřeby a podle nastavení cca 5 až 10 s. Poté se pomocí stlačeného vzduchu voda kompletně odstraní z jádra, jet-cooleru i hadičky, viz obr. 9. [18]



**Obr. 9** Popis cyklu chlazení [17]

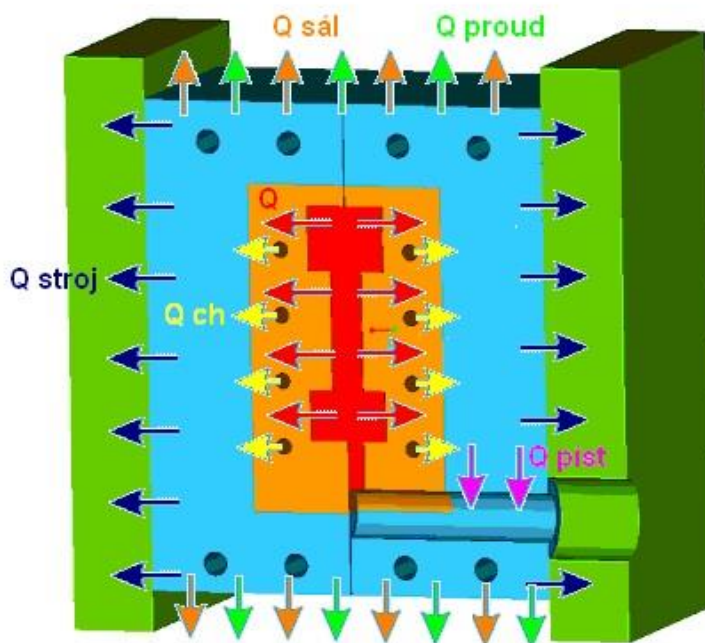
Díky této technologii dochází ke značnému prodloužení životnosti jádra, jelikož zde nedochází k výskytu nalepenin, jako je tomu u konvenčních jader. Je tedy zřejmé, že zde dochází k daleko menšímu mechanickému a tepelnému namáhání než u konvenčního jádra. Díky tomu nedochází k tak výrazné únavě materiálu a tím pádem se prodlužuje životnost. Krom samotného prodloužení životnosti je hlavním přínosem této technologie významné zlepšení kvality odlitku, čímž dochází k návratnosti vyšších pořizovacích nákladů na tuto technologii. Výrazné zlepšení vnitřní porezity při použití této technologie je patrné z obr. 10. [18, 19]



*Obr. 10 Snímky odlitku v řezu bez Jet-coolingu a s Jet-coolingem [18]*

### 2.3.3 Tepelná bilance formy

Během tvorby odlitku dochází k přenosu tepla z taveniny resp. odlitku do tlakové lící formy. Tento proces lze rozdělit do několika fází, které během lícího cyklu probíhají. Jedná se o přestup tepla z odlévaného materiálu do lící formy, dále pak o přestup tepla z formy do temperačního systému a přestup tepla z formy do okolí a rámu stroje. Dochází zde tak k výměně tepla pomocí vedení (kondukce), proudění (konvekce) a sálání (záření). Tepelná bilance lící formy je uvedena na obr. 11. [31]



*Obr. 11 Tepelná bilance tlakové lící formy [32]*

Teplo předané z odlitku do formy je z ní poté uvolňováno dle následující rovnice: [32]

$$Q = Q_{sál} + Q_{pr} + Q_{str} + Q_t + Q_p + Q_{píst} \quad (2.1)$$

kde  $Q$  – celkové teplo předané z odlitku do formy [J];

$Q_{sál}$  – teplo odvedené do okolí sáláním [J];

$Q_{pr}$  – teplo odvedené do okolí prouděním [J];

$Q_{str}$  – teplo odvedené vedením do rámu stroje [J];

$Q_t$  – teplo odvedené temperačním systémem [J];

$Q_p$  – teplo odvedené separačním prostředkem [J];

$Q_{píst}$  – teplo odvedené pístem stroje [J].

Důležitým faktorem ovlivňujícím výslednou kvalitu odlitku je teplota líce formy. Na tuto teplotu má vliv spousta faktorů, například druh slitiny, poměr objemu odlitku k jeho povrchu, doba liciho cyklu, materiál formy, druh separačního prostředku a konstrukce temperačního systému. V důsledku nevyhovující teploty líce formy může dojít k rychlejšímu ztuhnutí taveniny a následně tak mohou vznikat vady (studené spoje, nedolití, závaly, staženiny, vnitřní pnutí). Je tedy důležité, aby na jednotlivých místech povrchu formy nebyly velké teplotní rozdíly. [31]

**Teplo předané odlitkem** do formy je dáno rovnicí (2.2): [31, 33]

$$Q = Q_{př} + Q_{kr} + Q_{chl} + Q_{tř} \quad (2.2)$$

kde  $Q_{př}$  – teplo uvolněné z přehřáté taveniny [J];

$Q_{kr}$  – teplo uvolněné při tuhnutí taveniny [J];

$Q_{chl}$  – teplo uvolněné při chladnutí odlitku [J];

$Q_{tř}$  – teplo vzniklé třením pístu [J].

Teplo odvedené pístem a teplo vzniklé třením pístu je malé a lze ho proto zanedbat.

Teplo uvolněné z přehřáté taveniny je dán rovnicí 2. 3. [31]

$$Q_{př} = m \cdot c_L \cdot (T_{lití} - T_{kr}) \quad (2.3)$$

kde  $m$  – hmotnost taveniny [kg];

$c_L$  – měrná tepelná kapacita taveniny [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ];

$T_{lití}$  – teplota lití [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$T_{kr}$  – teplota krystalizace taveniny [ $^{\circ}\text{C}$ ].



Teplo uvolněné z taveniny při tuhnutí resp. krystalizaci vyjadřuje rovnice 2.4 [31]

$$Q_{kr} = m \cdot L_{kr} \quad (2.4)$$

kde  $L_{kr}$  – měrné latentní krystalizační teplo taveniny [ $\text{J.kg}^{-1}$ ];

Teplo uvolněné během chladnutí odlitku popisuje rovnice 2. 5. [31]

$$Q_{chl} = m \cdot c_s \cdot (T_{kr} - T_{ok}) \quad (2.5)$$

kde  $c_s$  – měrná tepelná kapacita materiálu v tuhém stavu [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ];

$T_{ok}$  – teplota odlitku po vyjmutí [ $^{\circ}\text{C}$ ].

**Teplo odvedené z formy** lze rozdělit do několika skupin.

Množství tepla odvedeného z formy vedením do rámu stroje je dáno rovnicí 2.6. [31]

$$Q_{str} = \alpha_v \cdot (T_{fs} - T_{ps}) \cdot S_{st} \cdot t_{cykl} \quad (2.6)$$

kde  $\alpha_v$  – součinitel přestupu tepla vedením z povrchu formy do rámu stroje [ $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ];

$T_{fs}$  – teplota vnějšího povrchu formy, který je ve styku se strojem [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$T_{ps}$  – teplota povrchu rámu stroje, který je ve styku s formou [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$S_{st}$  – plocha styku formy rámem stroje [ $\text{m}^2$ ];

$t_{cykl}$  – čas licího cyklu [s].

Teplo odvedené do okolí prouděním je popsáno rovnicí 2. 7. [31]

$$Q_{pr} = \alpha_p \cdot (T_{pf} - T_o) \cdot S_{fo} \cdot t_{cykl} \quad (2.7)$$

kde  $\alpha_p$  – součinitel přestupu tepla prouděním [ $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ];

$T_{pf}$  – teplota vnějšího povrchu formy [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$S_{fo}$  – plocha styku formy s okolím [ $\text{m}^2$ ];

$T_o$  – teplota okolí [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Teplo odvedené do okolí sáláním lze spočítat pomocí Stefanova-Boltzmannova zákona, viz rovnice 2.8. [31]

$$Q_{sál} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{pf}^4 - T_o^4) \cdot S_{fo} \cdot t_{cykl} \quad (2.8)$$

kde  $\sigma$  – Stefan – Boltzmannova konstanta ( $5,67 \cdot 10^8 \text{ [W.m}^2.\text{K}^{-4}]$ );

$\varepsilon$  – emisivita [-];

$T_o$  – teplota okolí [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$S_{fo}$  – plocha styku formy s okolím [ $\text{m}^2$ ].

Teplu odvedené temperačním systémem lze spočítat pomocí rovnice 2.9. [31]

$$Q_t = \alpha_t \cdot (T_{spd} - T_{tm}) \cdot S_k \cdot t_{cycl} \quad (2.9)$$

kde  $\alpha_t$  – součinitel přestupu tepla vedením mezi povrchem tvarové dutiny formy a temperačním médiem [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ];

$T_{spd}$  – střední teplota dutiny formy [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$T_{tm}$  – střední teplota temperačního média [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$S_k$  – teplosměnný povrch temperačního kanálu [ $\text{m}^2$ ].

Teplu odvedené postřikem líce formy může v případě postřiku na vodní bázi tvořit značný podíl z celkového tepla odvedeného z formy. Podíl takto odvedeného tepla může být v řádu až desítek procent. Za předpokladu, že dojde k odpaření celého množství separátoru, ho lze spočítat pomocí rovnice 2.10. [31]

$$Q_p = m_p \cdot [c_p \cdot (T_v - T_{pp}) + L_{vp}] \quad (2.10)$$

kde  $m_p$  – hmotnost použitého postřiku [ $\text{kg}$ ];

$c_p$  – měrná tepelná kapacita postřiku [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ];

$T_v$  – teplota vypařování kapalně fáze postřiku [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$T_{pp}$  – počáteční teplota postřiku [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$L_{vp}$  – měrné skupenské teplo vypařování kapalně fáze postřiku [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ].

## 2.4 Ošetření líce formy

Jedním z velmi důležitých faktorů při výrobě odlitku tlakovým litím je ošetření líce forem postřikem. Ten do značné míry ovlivňuje celý proces lití a má zásadní vliv na výslednou kvalitu odlitku a tím i na celkové náklady. Hlavní funkcí postřiku tlakových forem je:

- Nanesení dělicího prostředku.
- Namazání pohyblivých částí formy.
- Odstranění nečistot.
- Ochlazení formy. [20]

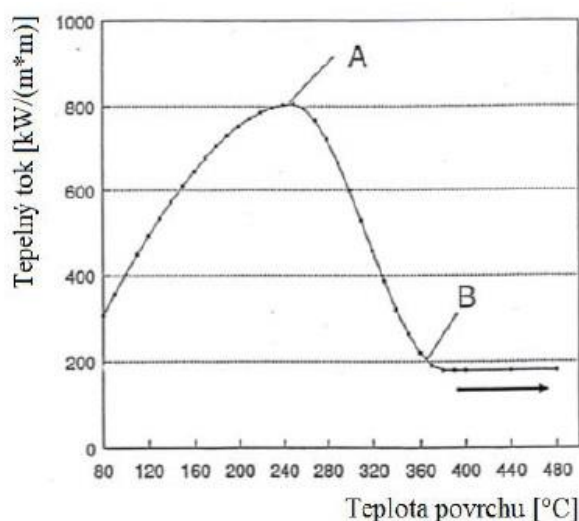
Předpokladem pro správnou funkci dělicího prostředku je stejnoměrná teplota formy, která by měla ležet v rozmezí 180-250  $^{\circ}\text{C}$ . Tento požadavek je hlavní úlohou konstrukce formy a její temperace. Nejčastěji používanými prostředky při tlakovém lití jsou prostředky na



vodní bázi. Při nánosu dělicího prostředku dochází na povrchu formy k vytvoření chemické vrstvy, díky níž lze pak snadněji vyjmout daný odlitek. Současně dochází k promazání pohyblivých částí formy. Jednou z dalších funkcí mazadla je odvod tepla z formy. Někdy tento jev může být považován za negativní, neboť zde dochází k teplotním rázům, což má za příčinu zkracování životnosti formy. Schopnost dělicího prostředku odvádět teplo z formy je dána teplotou povrchu formy. Čím vyšší je teplota formy, tím větší je rozdíl teplot mezi povrchem formy a teplotou dělicího prostředku a stoupá tak i rychlost odpařování separátoru. S tím roste i tepelný tok a dochází k ochlazování povrchu formy až do doby, kdy se na povrchu formy začne tvořit pára. Tím je dosaženo teploty vyhoření, viz obr. 12. [20, 21]

S rostoucí složitostí a velikostí odlitků je stále složitější navrhnout účinné vnitřní chlazení tak, aby docházelo k rovnoměrnému a dostatečnému ochlazování všech částí formy. V důsledku rostoucí velikosti odlitků dochází i ke zvyšování teplot povrchu formy. Dnes je často doporučovaná optimální teplota formy před postřikem překročena a je dosahováno teplot okolo 400 °C. [22]

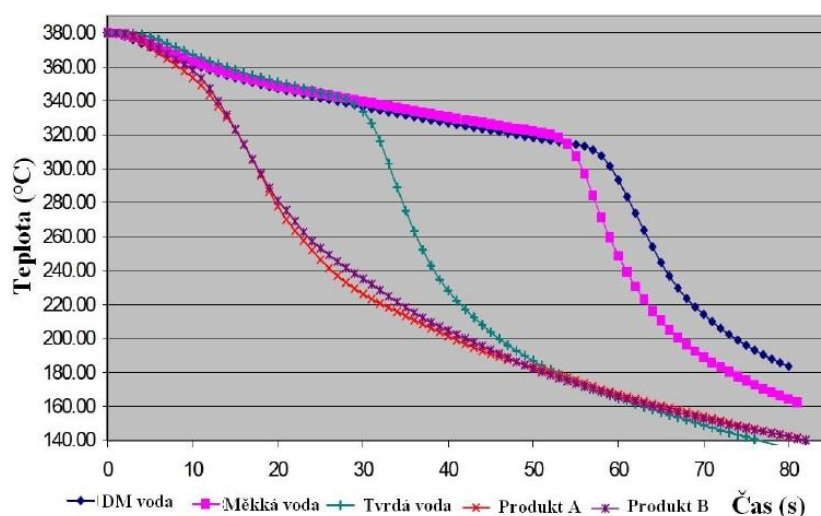
Pokud je teplota ošetřovaného povrchu příliš vysoká, dochází v tomto místě ke vzniku tzv. Leidenfrostova jevu. V důsledku toho kapky separačního prostředku od povrchu formy odskakují a nedojde tak ke smáčení povrchu a tím k jeho namazání. Nejvyšší možná teplota, při které je separační prostředek na vodní bázi schopen přilnout k povrchu formy, je tak označována jako Leidenfrostova teplota, viz obr. 12.



**Obr. 12** Graf znázorňující odvod tepla z povrchu formy dělicím prostředkem. Bod A) teplota vyhoření, bod B) Leidenfrostova teplota [21]

Je-li naopak teplota povrchu formy příliš nízká, nedochází k odpařování vodního podílu separátoru, a ten tak odkapává, tím pádem nedochází k vytvoření ochranné vrstvy na povrchu formy, což také není žádoucí. [20, 22]

Je tedy snaha o vývoj zcela nových dělicích prostředků, které budou eliminovat tento problém, tzn. prostředků, které nebude nutné dále ředit vodou, a nebo o vývoj dělicích prostředků, které budou mít vyšší Leidenfrostovu teplotu, aby docházelo k vytvoření ochranné vrstvy i na povrchu formy s vyšší teplotou. Studie s vodou ukázaly, že přítomnost rozpuštěných solí ve vodě zvyšuje Leidenfrostův bod. Grafické znázornění této závislosti je na obr. 13. [20, 22]



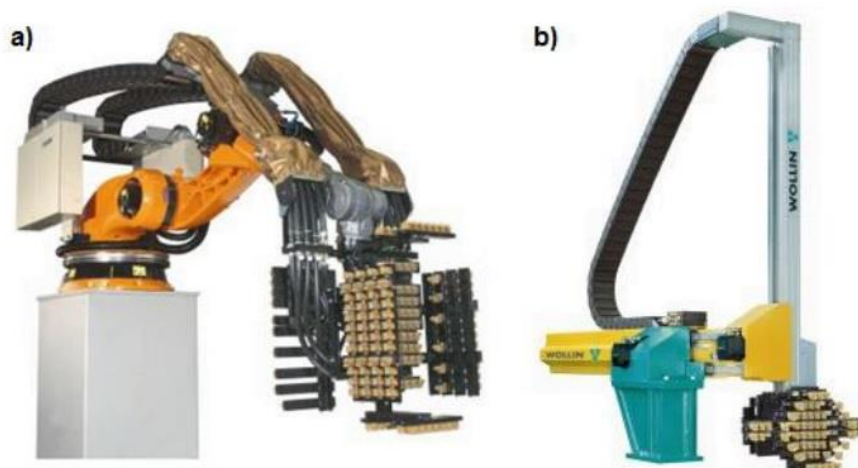
**Obr. 13** Graf znázorňující závislost schopnosti odvádět teplo na minerálním složení vody [22]

#### 2.4.1 Konvenční způsob ošetření líce formy

V současnosti nejrozšířenější jsou dělicí prostředky ředitelné vodou. Běžně se tyto prostředky skládají z koncentrátu, vody a emulgátorů. Koncentráty lze je rozdělit do pěti základních skupin. Jsou to minerální oleje, esterové oleje, silikonové oleje, vosky a separátory s povrchově aktivními látkami, které lze ještě následně dělit na neiontové a aniontové povrchově aktivní látky. Emulgátor zde zajišťuje smísení jinak nesmísitelných látek, jako jsou např. voda a olej. [24]

**Postřik líce formy** se v dnešní době až na výjimky provádí automaticky pomocí soustavy trysek, které jsou připevněny na postřikovou hlavu. Hlava je připevněna buď na dvouosé manipulační zařízení tzv. manipulátor, nebo na ošetřovacího robota, viz obr. 14. Každý z

těchto systému má své klady i zápory. Výhodou manipulátoru je především jeho rychlost, snadnější údržba a ovládání. Je ovšem limitován pohybem pouze po dvou osách. Robot disponuje pohybem v šesti osách, a tudíž je schopen ošetřit i hůře přístupná místa. Jeho nevýhodou je naopak vyšší pořizovací cena.



**Obr. 14** a) robot s postřikovou hlavou, b) dvousé manipulační zařízení s postřikovou hlavou [25]

Samotná konstrukce postřikové hlavy může být též různá. Nejvhodnější je řešení pomocí modularního systému, jako tomu je například u německého výrobce postřikových zařízení firmy WOLLIN GmbH. Výhodou tohoto systému je možnost doplnit trysky na zařízení přímo na místě podle potřeby tak, aby docházelo k rovnoměrnému nanesení dělicího prostředku na všechny části formy.

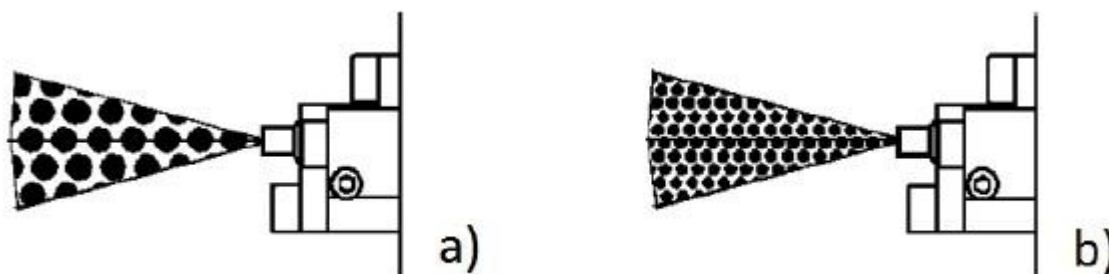
Krom samotného nanesení a ulpění dělicího prostředku na povrch formy je dalším významným faktorem ovlivňujícím výslednou kvalitu odlitku množství zbytkové chladicí vody ve formě. Pro výrobu, co možná nejvyššího množství odlitku, je zapotřebí formu po ošetření řádně osušit. Dále je z ekonomických i ekologických důvodů vhodné, aby co možná největší množství naneseného prostředku ulpělo na povrchu formy, přebytečné množství totiž z formy steče do odpadu pod formou, čímž dochází ke zvýšení zátěže životního prostředí i růstu nákladů.

Faktory ovlivňující účinnost postřiku:

- Hustota postřiku.
- Velikost a rychlost kapek dělicího prostředku (větší množství malých kapek má výrazně vyšší chladicí účinek než malé množství velkých kapek).
- Velikost postřikované plochy.

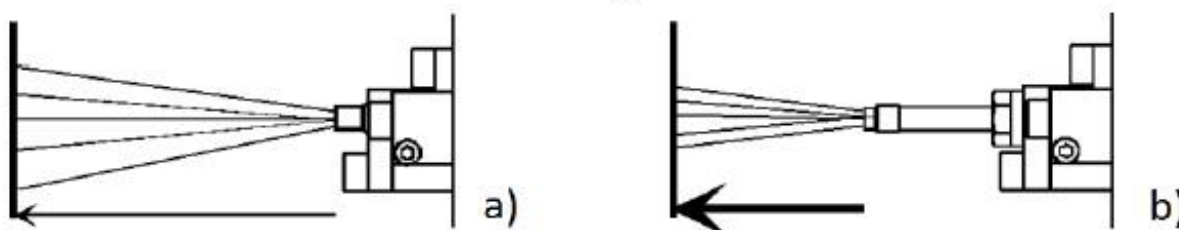
- Tlak vzduchu zajišťující rozprášení dělicího prostředku (velikost kapek)
- Tlak dělicího prostředku (ovlivňuje hustotu postřiku).
- Doba postřiku (ovlivňuje spotřebu postřiku).
- Vzdálenost mezi tryskou a formou (ovlivňuje velikost postřikované plochy).
- Úhel mezi osou trysky a rovinou formy. [20]

**Tlak dělicího prostředku** udává objem dělicího prostředku, který proteče tryskou a tím pádem i jeho hustotu s jakou dopadá na plochu formy. **Tlak vzduchu** zajišťuje rozprášení dělicího prostředku a zvyšuje rychlost kapek. Čím je vyšší, tím jemnější jsou kapky dělicího prostředku a mají také vyšší rychlost, dochází rovněž ke zvýšení účinnosti postřiku, jak je patrné z obr. 15. [26]



*Obr. 15 Schematické znázornění rozdílu tlaku vzduchu a) malý tlak vzduchu – hrubé rozprášení, b) vysoký tlak vzduchu – jemné rozprášení [26]*

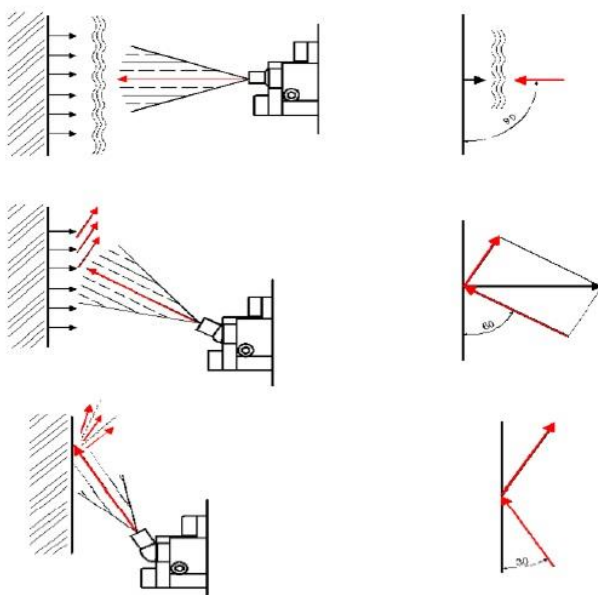
**Vzdálenost mezi formou a tryskou** ovlivňuje velikost postřikované plochy, hustotu postřiku a také velikost a rychlost kapek. Doporučená vzdálenost trysek od formy je 100 až 200 mm. Pro přehřátá místa se volí kratší vzdálenost, pro „studená“ místa větší vzdálenost, viz obr. 16. [26]



*Obr. 16 Schematické znázornění různých vzdáleností trysky a formy. A) velká vzdálenost od formy – malá energie dopadu, zasažena větší plocha, B) menší vzdálenost od formy – vysoká energie dopadu, menší velikost postřikované plochy [26]*

**Úhel mezi osou trysky a rovinou formy** má zásadní vliv na správné přilnutí dělicího prostředku k povrchu formy jako i na odpaření vodní složky. Pokud postřik dopadá pod

velmi malým úhlem, dochází k jeho odrazu od povrchu formy. Rovněž dopad kolmo na rovinu formy není žádoucí. V tomto případě dochází k uvěznění par uvnitř postřiku, a ty tak nemohou odcházet z formy. Rovněž tím dojde k vytvoření tzv. parního polštáře, který brání dalšímu nánosu dělicího prostředku, tento problém lze do jisté míry odstranit pulzováním trysky. Správné nastavení trysek tak má zásadní vliv na kvalitu odlitku i na hospodárnost jeho využití. Toto nastavení je patrné z obr. 17. [26]

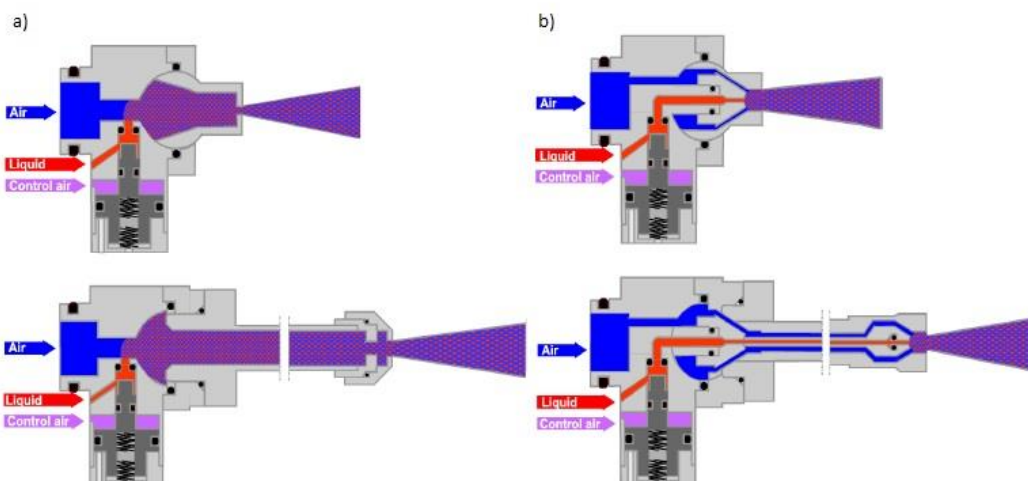


**Obr. 17** Nastavení směru trysky a) úhel dopadu  $90^\circ$  – pára nemůže odcházet a vytváří se parní polštář, b) úhel dopadu  $60^\circ$  – ideální případ, c) úhel postřiku  $30^\circ$  – postřik se odráží od formy. [26]

V praxi se používají dva základní typy trysek, rozdělené podle toho, kde dochází k smíšení separátoru se vzduchem. Jsou to **trysky s vnějším směřováním** a **s vnitřním směřováním**. Další rozdíl je v ovládacím mechanismu trysky, a proto nelze na jedné hlavě kombinovat oba tyto typy. [27]

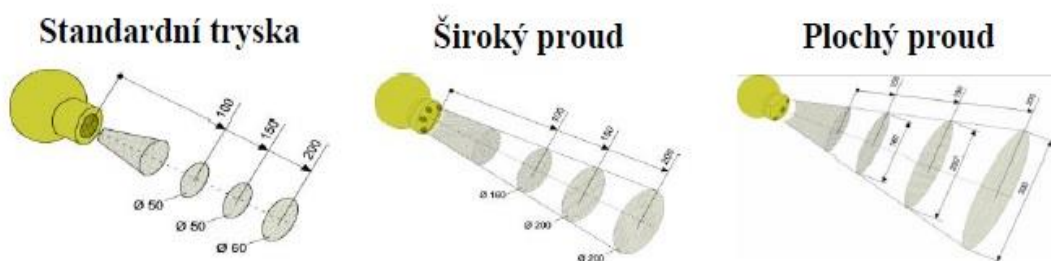
U **trysky s vnějším směřováním** je separátor vyveden až k samotnému vyústění trysky, kde pomocí tlaku vzduchu dochází k jeho rozprášení na formu. Díky vnějšímu směřování jsou kapky, které vytváří mlhu, konstantnější a jemnější. Tlak vzduchu a dělicího prostředku jsou nezávisle nastavitelné. Schématické znázornění je na obr. 18. [27]

U **trysky s vnitřním směřováním** je separátor přiveden do směšovací komory, kam je přiváděn tlakový vzduch, s jehož pomocí je separátor rozprášen na povrch formy. Tato technologie má oproti vnějšímu směřování výhodu ve vyšší dopadové energii separátoru při dopadu na povrch formy. Tato technologie je i konstrukčně méně náročná a tím i cenově výhodnější. Schématické znázornění je na obr. 18. [27]



*Obr. 18 a) tryska s vnitřním směřováním b) tryska s vnějším směšováním [27]*

Další možností dělení trysek je na základě charakteristiky postřikového kuželu, který ovlivňuje jak hustotu postřiku, tak velikost postřikované plochy. Toto dělení je patrné z obr. 19. **Standardní tryska** má svázaný proud a tím pádem dochází k postřiku malé plochy. Dále **tryska s širokým proudem**, jež je schopna pokrýt postřikem větší plochu a **tryska s plochým proudem**, jež vytváří široký plochý proud, a postřikuje tak plochu ve tvaru elipsy. [27]



*Obr. 19 Charakteristiky postřikového kuželu dle výběru trysek [27]*

## 2.4.2 Mikropostřik

Hlavním rozdílem této technologie oproti konvenčním metodám nanášení dělicího prostředku je značná eliminace vody. Dochází tak pouze k nánosu čistého koncentráту dělicího prostředku. Tento koncentrát je v závislosti na výrobci buď na vodní, nebo olejové bázi a před nanášením se již dále neředí. Dochází tak k rozprášení velmi malého množství

tekutiny, řádově v jednotkách až desítkách mililitrů (u konvenční technologie se jedná řádově o litry koncentráту ředěného vodou). [27]

Samotná technologie nanášení dělicího prostředku je velmi podobná konvenční technologii. Rozdílná je doba nanášení dělicího prostředku. Vzhledem k absenci postřikové vody odpadá i nutnost jejího vyfoukání z formy a tím pádem dochází ke značnému zkrácení celého cyklu nanášení dělicího prostředku. Následkem rozprášení velmi malého množství dělicího prostředku zde nedochází k ochlazování povrchu formy postřikovou vodou, z tohoto důvodu je tedy zapotřebí, aby forma byla důkladněji ochlazována pomocí temperačního systému. Zároveň tak ale nedochází k velkým teplotním rázům na povrchu formy a je tím prodloužena její životnost. Odpadá též problém se špatným osušením formy, kdy zbytková voda ve formě zapříčiňuje následnou pórovitost odlitku.

Oproti konvenční technologii je nutný návrh zcela nových temperačních a chladících okruhů formy. Technologie je tedy vhodnější pro odlévání tenkostěnných odlitků. Pomocí této technologie je možné docílit následujících úspor:

- Snížení času lícího cyklu.
- Šetření samotného lícího stroje - 15–30 % nižší rychlostí pístu při plnění.
- Zvýšení produktivity slévárny o 20–30 %.
- Snížení spotřeby vzduchu o 50–80 %.
- Energetická úspora formy – forma se neohřívá, pouze chladí.
- Snížení počtu neshodných kusů – zvýšení kvality odlitků a snížení vnitřní porezity a zlepšení povrchové kvality odlitků.
- Nejméně dvojnásobná a vyšší životnost formy.
- Snížení výskytu koroze, jak na formě, tak i celém prostředí kolem formy. [27]

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část této práce probíhala ve spolupráci se Škoda Auto a.s. a je zaměřena na analýzu vlivu ošetření líce tlakové licí formy pomocí prostředku HERA™ ve vztahu ke kvalitě odlitku bloku motoru 1.0. MPI EVO.

Cílem nasazení technologie mikropostřiku do sériové výroby bylo snížení zmetkovitosti odlitku, především pak snížení vnitřní porezity. Krom již zmíněného snížení porezity výrobce toho prostředku uvádí řadu dalších výhod této technologie ve srovnání s technologií konvenční. Těmito výhodami by mělo být zkrácení času nanášení dělicího prostředku (tím i celého licího cyklu), snížení namáhání licího stroje v důsledku nižší rychlosti pístu, snížení výskytu koroze na formě a v jejím okolí (v důsledku absence vody) a dále pak zvýšení životnosti formy.

Experimentální část předložené práce je rozdělena do čtyř částí. V první části je popsána licí buňka, na které probíhá odlévání již zmíněného bloku motoru, dále pak změny, které bylo nutno vykonat při přechodu z konvenční technologie ošetření líce formy na technologii ošetření pomocí mikropostřiku. Na tuto část plynule navazuje kapitola týkající se chlazení a temperace formy, neboť jak již bylo popsáno v teoretické části této práce, nastává při použití technologie mikropostřiku problém s ochlazováním formy v důsledku absence postřikové vody, a je tedy nutné navrhnout zcela nový systém chlazení a temperace formy. Další kapitola se zabývá již samotným ošetřením líce formy pomocí prostředku HERA™. Na úvod této kapitoly jsou popsány změny při přechodu z konvenční technologie na technologii novou, následně je pak popsána optimalizace nové technologie vedoucí k parametrům využívaným v dnešní době pro sériové lití. Na závěr experimentu byla provedena analýza zmetkovitosti odlitku v závislosti na použité technologii ošetření líce formy a zhodnocení, zda bylo pomocí technologie mikropostřiku dosaženo snížení zmetkovitosti odlitku, což byl hlavní cíl pro její zavedení, a dále pak zda bylo dosaženo dalších výhod uváděných výrobcem separátoru.

#### 3.1 Licí buňka

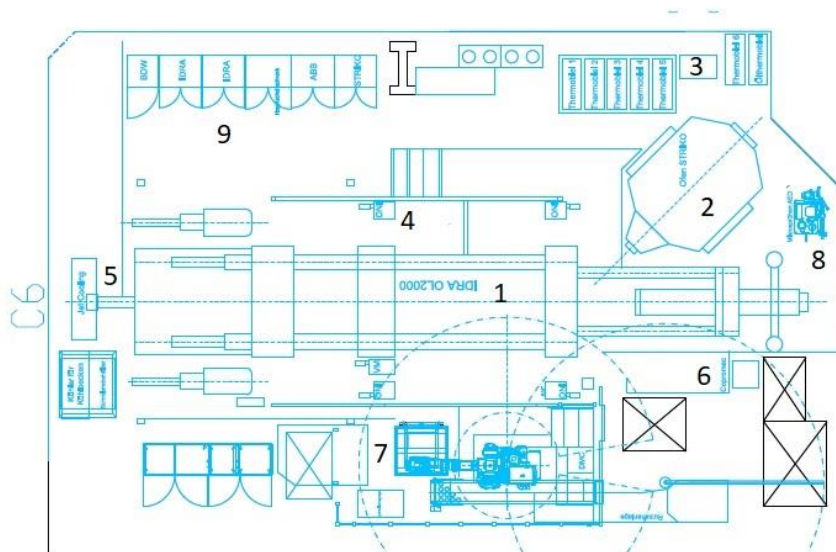
Zkušební a následně i sériové lití s využitím ošetření pomocí mikropostřiku probíhalo na licí buňce s interním označením C6, která v minulosti sloužila taktéž k odlévání bloku motoru



1.0. MPI EVO, ovšem s použitím konvenčního způsobu ošetření líce formy. Při přechodu na novou technologii bylo nutné provést na této buňce řadu úprav.

Tyto úpravy se týkaly součástí buňky souvisejících s chlazením a temperací formy a ošetřením jejího líce. Pro potřeby chlazení a temperace formy při použití konvenční technologie byla tato buňka osazena pouze zařízením Thermobiehl a technologií Jet-cooling. Již před samotným zahájením lití bylo zřejmé, že stávající řešení nebude pro novou technologii dostačující. Došlo tedy k úpravě temperačních kanálů formy a přidání chladicího zařízení ONI-Rhytemper. Více o úpravě termoregulačních systémů formy je uvedeno v kapitole 3.2. Dále bylo nutné vyměnit postřikovou hlavu určenou pro konvenční způsob ošetření za hlavu určenou pro ošetření pomocí mikropostřiku. Došlo tak k výměně stávající hlavy Wollin určené pro konvenční ošetření za nově navrženou hlavu Wollin určenou pro technologii mikropostřiku. Již v začátcích experimentu se ukázalo jako nevhodné spojení stávajícího zařízení sloužícího k ošetření líce formy od společnosti AED s nově instalovanou hlavou Wollin. Bylo tedy nutné postupně vyměnit zařízení AED za zařízení od firmy Wollin určené pro potřeby nové technologie. Podrobněji se této problematice věnuje kapitola 3.3 týkající se ošetření líce formy pomocí technologie mikropostřiku.

Tím bylo dosaženo výsledné podoby buňky vhodné pro sériové lití pomocí technologie mikropostřiku, viz obr. 20. Ta se skládá z licího stroje IDRA OL2000 (1) s perefieriemi. Těmi jsou udržovací pec StrikoWestofen (2), temperační zařízení Thermobiehl (3), chladicí zařízení ONI-Rhytemper (4), dále pak pro chlazení špatně chladitelných míst technologie Jet-cooling (5) od společnosti Lethiguel. Další součástí této buňky je zařízení Copromec (6) sloužící k mázání pístu. V neposlední řadě jsou součástí této licí buňky dva roboti od společnosti ABB, z nichž jeden slouží k zakládání do formy (7) a druhý plní funkci postřikového robota, když nese postřikovou hlavu Wollin, ta je napojen na směšovací nádobu Wollin OSA 2 (8). Na obr. 20 jsou dále zobrazeny ovládací panely a pojistkové skříně (9) jednotlivých součástí této buňky. Na obrázku bohužel není zakreslen ošetřovací robot ABB s hlavou Wollin.



1 - IDRA OL2000, 2 - StrikoWestofen, 3- Thermobiehl, 4- ONI-Rhytemper, 5- Jet-Cooling, 6 - Copromec, 7 - ABB, 8 - Wollin OSA2, 9 - pojistky a ovladače

**Obr. 20** Schéma lící buňky C6 pro sériovou výrobu s využitím technologie mikropostřiku

Obecné parametry lití, které jsou již využity v sériové výrobě, popisuje tab. 1.

**Tab. 1** Obecné parametry lití

Parametr lití	Jednotka	Nastavení
průměr lící komory	[mm]	130
teplota v udžovací peci	[°C]	660
prodleva	[s]	6
zakládáná vložka	[-]	04E 103 321
materiál	[-]	AlSi9Cu3
hmotnost nalitého kovu	[kg]	18,3
rychlost při rozjezdu pístu	[m/s]	0,17
čas tuhnutí	[s]	16
start vakua	[mm]	200
stop vakua	[mm]	380
squeeze start 1. /2. okruh	[s]	3,0
squeeze stop 1. /2. okruh	[s]	10,0
tlak squeeze vpřed 1. /2. okruh	[bar]	150
tlak squeeze vzad 1. /2. okruh	[bar]	150

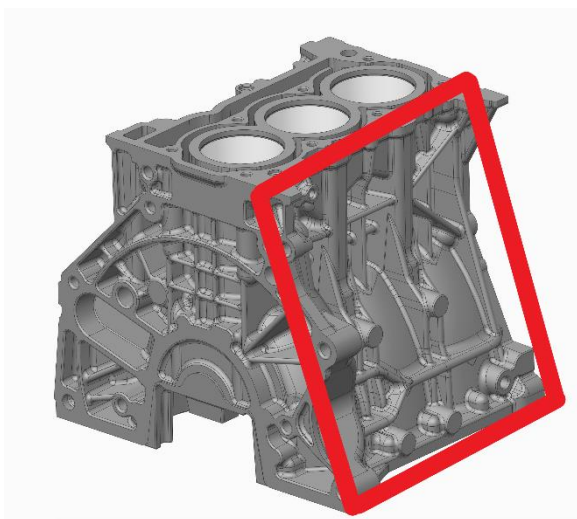
Jednotlivá výsledná nastavení licího stroje IDRA využívaná v sériové výrobě jsou popsána v tab. 2.

**Tab. 2** Základní parametry licího stroje IDRA

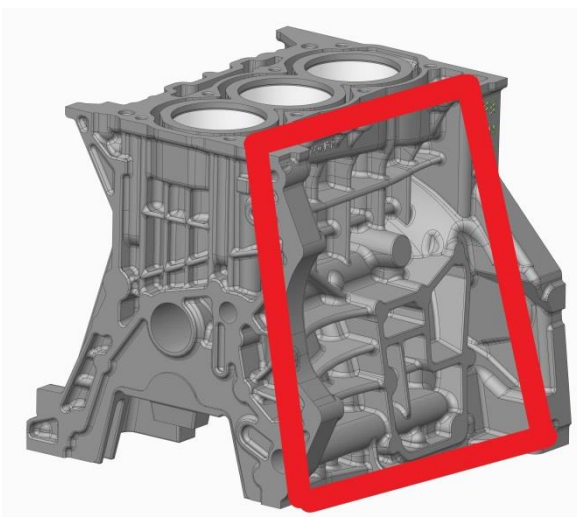
<i>Parametr lití</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Nastavení</i>
<i>výška tablety</i>	[mm]	50
<i>1. rychlost</i>	[m/s]	0,19
<i>2. rychlost</i>	[m/s]	0,21
<i>3. rychlost</i>	[m/s]	6,5
<i>tlak multiplikace (dotlak)</i>	[bar]	290
<i>start 1. dráhy</i>	[mm]	100
<i>start 2. dráhy</i>	[mm]	200
<i>start 3. dráhy</i>	[mm]	480
<i>start multiplikace (dotlak)</i>	[mm]	650

### 3.2 Chlazení a temperace

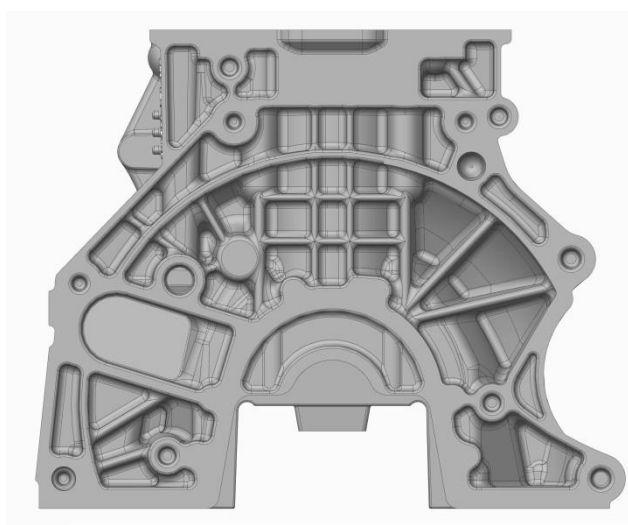
Jak již bylo popsáno v teoretické části této práce, bylo zapotřebí pro ošetření líce formy pomocí technologie mikropostřikem navrhnout zcela novou koncepci chlazení formy, neboť v důsledku absence ředící vody při nanášení dělicího prostředku nedochází k ochlazování líce formy touto vodou a proto zde dochází ke značnému přehřívání formy. Prvotní zkoušky technologie mikropostřiku byly prováděny na formě s klasickou koncepcí chlazení. To se ovšem ukázalo jako zcela nereálné, neboť zde docházelo k velkým problémům s přehříváním a to zejména v oblastech spodního (obr. 21), horního (obr. 22) a spojkového segmentu (obr. 23), kde vlivem příliš vysoké teploty docházelo k silnému nalepování na formu a následnému zadírání odlitku. Do značné míry byl tento problém zprvu zapříčiněn i nedostatečným namazáním formy dělicím prostředkem. Na obr. 21 až 24 jsou vyobrazeny výše popsané oblasti na 3D modelu bloku motoru.



***Obr. 21 3D model bloku zobrazující spodní segment bloku***

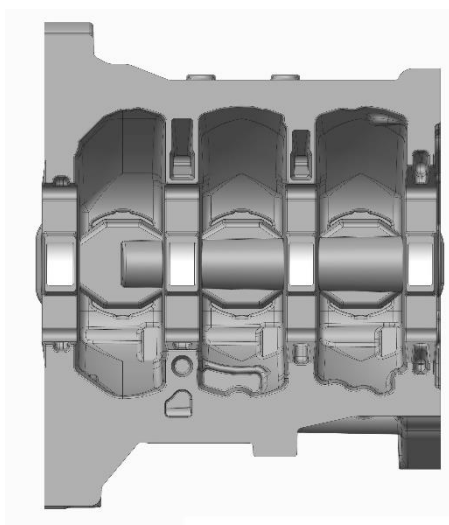


***Obr. 22 3D model bloku zobrazující horní segment bloku***

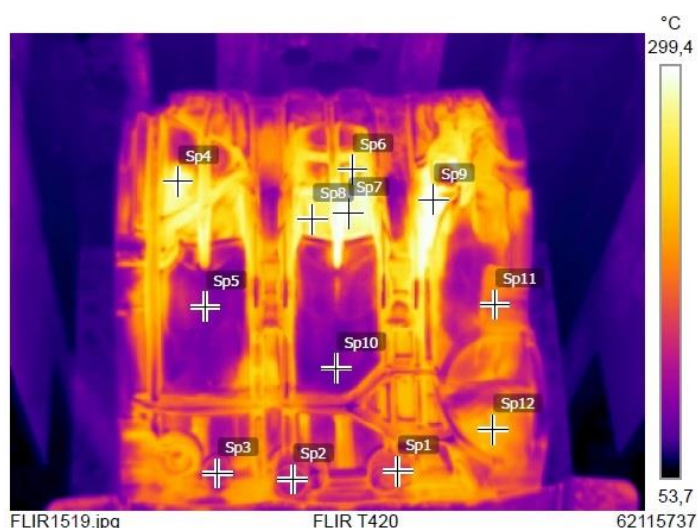


***Obr. 23 3D model bloku zobrazující oblast příruby spojky***

V těchto oblastech (spodní, horní a spojkový segment) docházelo při konvenčním ošetření formy k jejímu velkému ochlazení pomocí postřikové vody. V důsledku již zmíněné absence této vody u technologie mikropostřiku docházelo v těchto oblastech k výskytu vysokých teplot, tyto teploty jsou patrné z následujících termosnímků (obr. 25, 26, 27). Krom již zmíněných oblastí docházelo k výskytu velmi vysokých teplot také v oblastech pevné části formy (obr. 24), kde byla naměřena teplota téměř 350°C (obr. 28), v této oblasti ovšem nedocházelo k výskytu problémů s nalepováním taveniny. Teploty na lici formy byly měřeny pomocí termokamery Flir T420 a její nastavení bylo pro všechny termosnímků shodné (emisivita 0,94 a odrazová teplota 20°C).



**Obr. 24** 3D model bloku zobrazující oblast karteru (pevný díl formy)

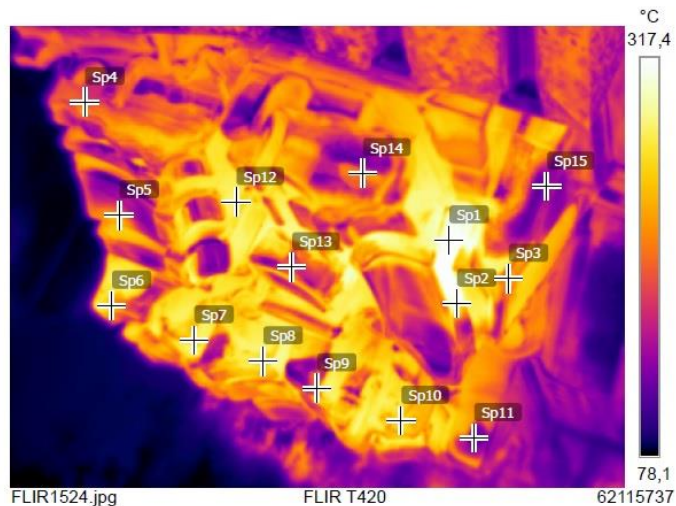


**Obr. 25** Termosnímek spodního segmentu před úpravou chlazení

Teploty dosahované v jednotlivých oblastech spodního segmentu jsou zapsány v tab. 3. Nejvyšší teplota v této části byla v oblasti Sp9 (302°C).

**Tab. 3** Hodnoty teplot spodního segmentu před úpravou chlazení

Oblast	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp11	Sp12
Teplota [°C]	194	163	101	288	123	250	287	268	302	115	170	226

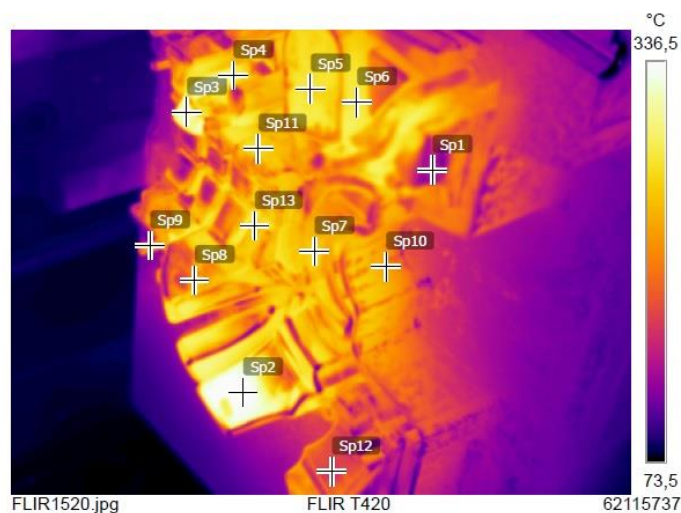


**Obr. 26** Termosnímek horního segmentu před úpravou chlazení

Teploty dosahované v jednotlivých oblastech horního segmentu jsou zapsány v tab. 4. Nejvyšší teplota v této části byla v oblasti Sp1 (317°C).

**Tab. 4** Hodnoty teplot horního segmentu před úpravou chlazení

Oblast	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp11	Sp12	Sp13	Sp14	Sp15
Teplota [°C]	317	306	242	206	233	257	271	263	174	266	136	281	196	224	161



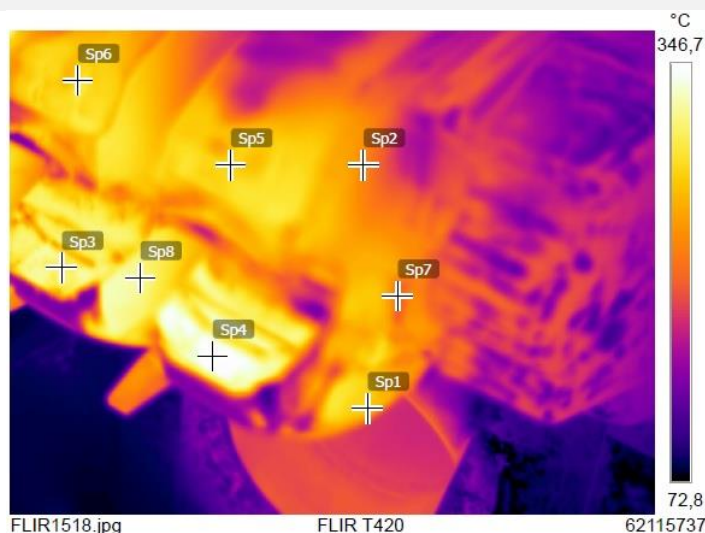
**Obr. 27** Termosnímek spojkového segmentu před úpravou chlazení



Teploty dosahované v jednotlivých oblastech spojkového segmentu jsou zapsány v tab. 5. Nejvyšší teplota v této části byla v oblasti Sp2 (338°C).

**Tab. 5** Hodnoty teplot spojkového segmentu před úpravou chlazení

Oblast	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp11	Sp12	Sp13
Teplota [°C]	176	338	323	304	280	290	271	245	226	247	274	181	266



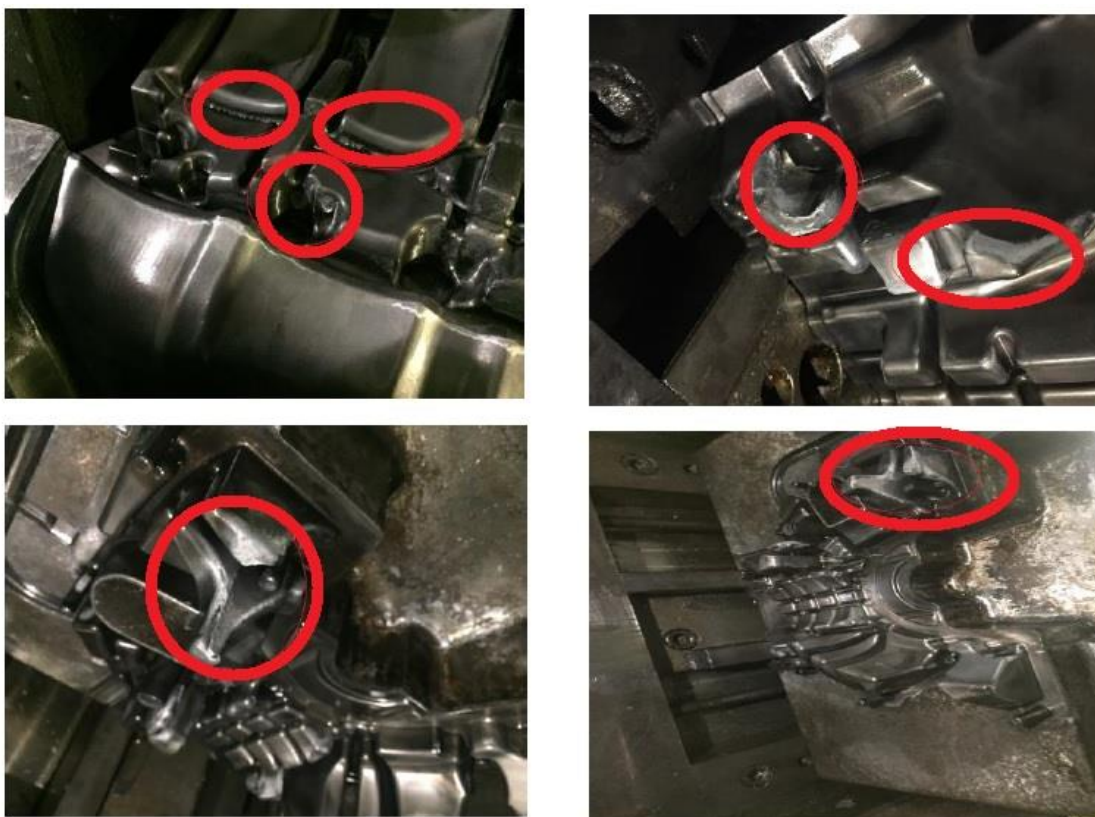
**Obr. 28** Termosnímek pevné poloviny před úpravou chlazení

Teploty dosahované v jednotlivých oblastech pevné poloviny jsou zapsány v tab. 6. Nejvyšší teplota v této části byla v oblasti Sp4 (349°C).

**Tab. 6** Hodnoty teplot pevné poloviny před úpravou chlazení

Oblast	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8
Teplota [°C]	287	253	305	349	294	294	237	322

Následné problémy s nalepováním taveniny na tvarových vložkách v důsledku zmiňované vysoké teploty povrchu formy jsou patrné z obr. 29.



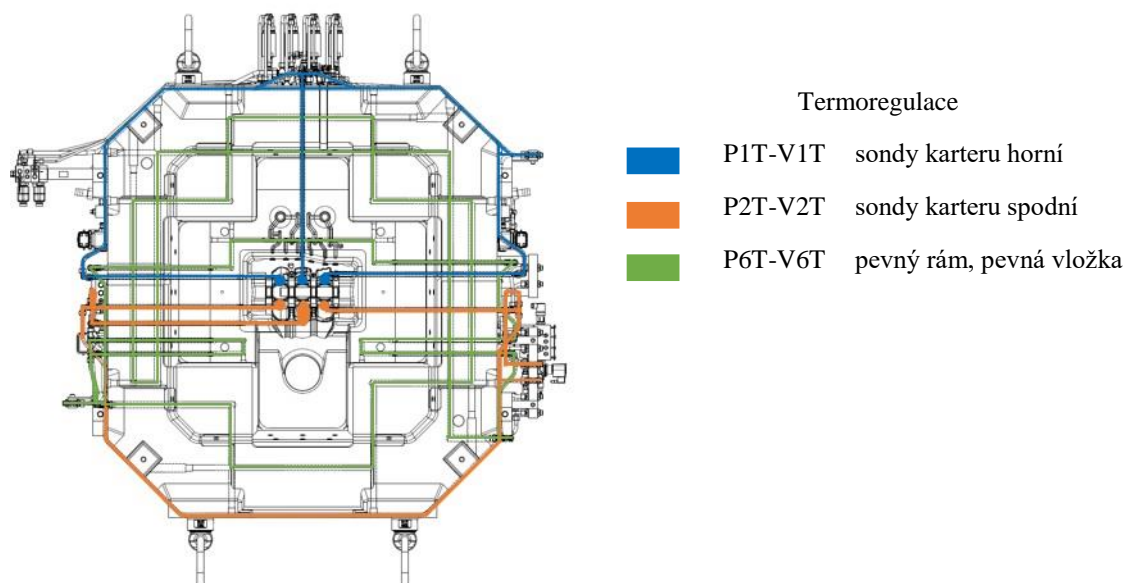
**Obr. 29** Nalepování na formě v důsledku její vysoké teploty

Na základě těchto problémů byla navržena zcela nová koncepce chlazení formy. Původní koncepce chlazení formy byla řešena pouze pomocí podpovrchových kanálů, které byly napojeny na zařízení Thermobiehl se studenou vodou. Některé okruhy byly napojeny na centrální rozvod vody s konstantně nastaveným průtokem. K dalšímu chlazení pak sloužilo zařízení Jet-cooling.

Nová koncepce chlazení formy je krom podpovrchových kanálů navíc řešena pomocí sond. Zařízení Thermobiehl se v nové koncepci chlazení využívá pouze na předehřev formy. Zařízení Jet-cooling zůstalo též zachováno. Nově přibyl chladicí zařízení ONI-Rhytemper, které využívá k chlazení formy teplou vodu ( $75^{\circ}\text{C}$ ). Tato zařízení jsou zde instalována dvě, jedno s průtokem vody do  $20 \text{ l.min}^{-1}$  a jedno spojené s velkokapacitními okruhy, kde je možný průtok vyšší než  $20 \text{ l.min}^{-1}$ . Funkce tohoto zařízení, je narozdíl od zařízení Thermobiehl, spojena s licím cyklem, chladicí zařízení ONI je tak řízeno strojem v závislosti na aktuální fázi cyklu. K otevírání či zavírání jednotlivých okruhů dochází pomocí elektromagnetických ventilů. Schematické zobrazení jednotlivých okruhů chlazení formy včetně nastavených parametrů chlazení a teploty je patrné z následujících obrázků a tabulek

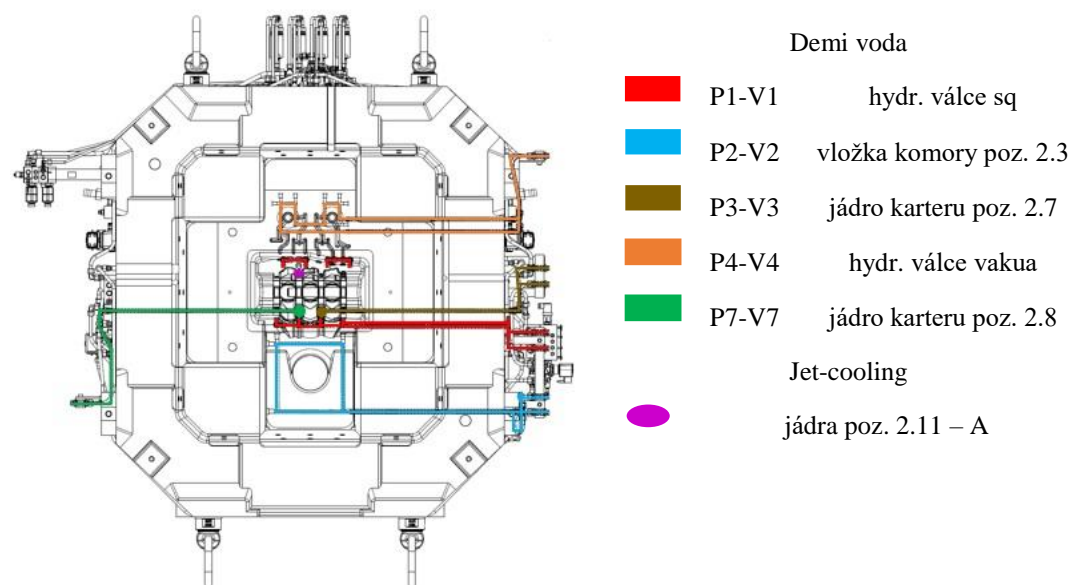


Na obr. 30 jsou znázorněny temperační okruhy P1T-V1T, P2T-V2T a P6T-V6T v pevné části formy.



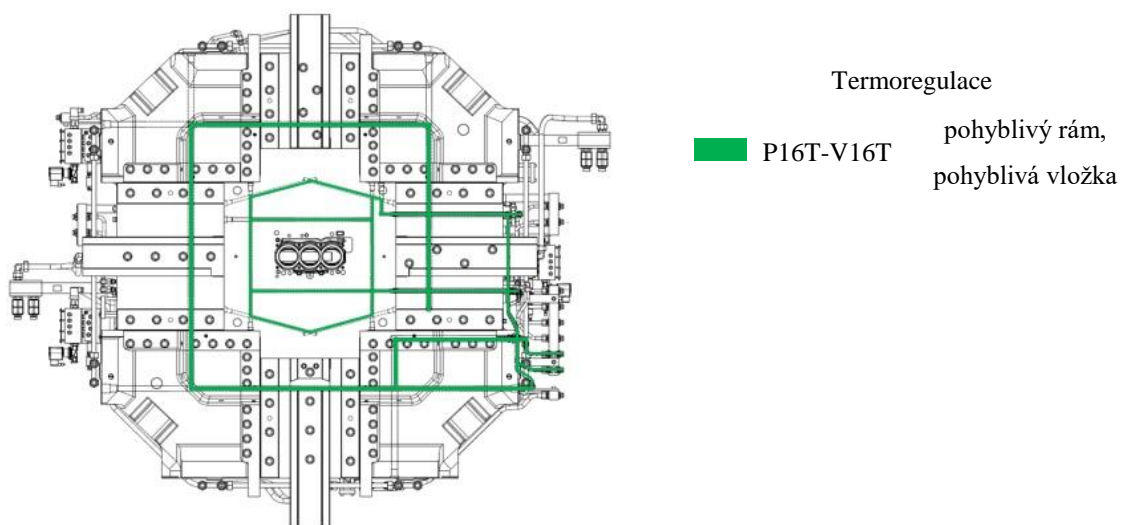
**Obr. 30** Schéma termoregulačních kanálů I - v pevné části formy

Na obr. 31 jsou znázorněny okruhy P1-V1, P2-V2, P3-V3, P4-V4, P5-V5 a okruh A takéž v pevné části formy.



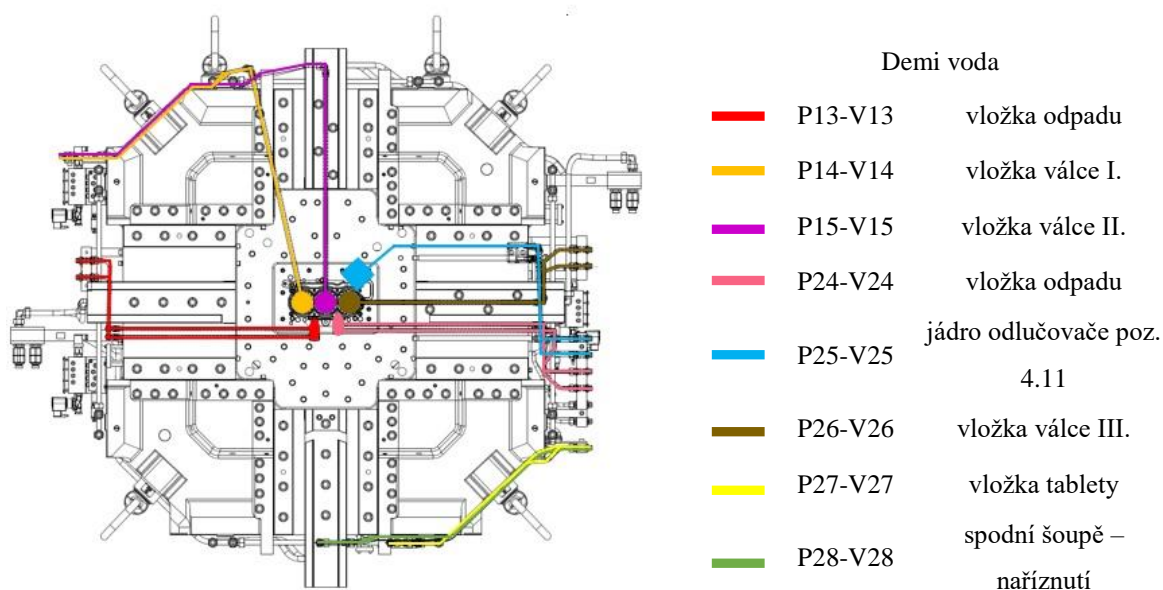
**Obr. 31** Schéma termoregulačních kanálů II - v pevné části formy

Na obr. 32 je znázorněn okruh P16T-V16T v pohyblivé části formy.



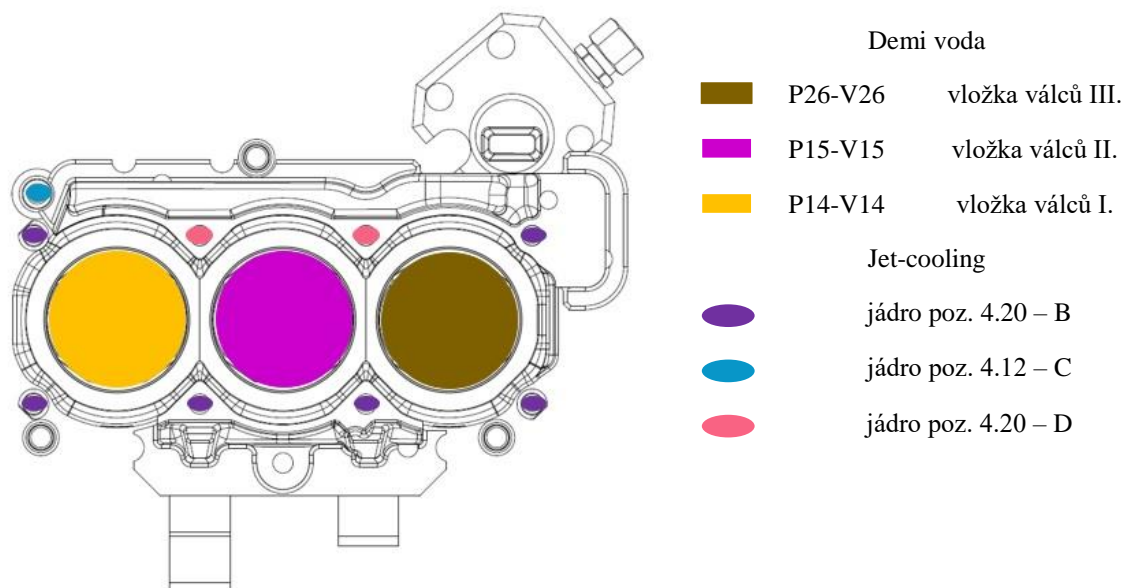
**Obr. 32** Schéma termoregulačních kanálů III - v pohyblivé části formy

Na obr. 33 jsou znázorněny okruhy P13-V13, P14-V14, P15-V15, P24-V24, P25-V25, P26-V26, P27-V27 a P28-V28 taktéž v pohyblivé části formy.



**Obr. 33** Schéma termoregulačních kanálů IV - v pohyblivé části formy

Na obr. 34 jsou znázorněny termoregulační okruhy válců a vložek chlazených technologií Jet-cooling.



**Obr. 34** Schéma chlazení vložek válců a tenkých jader technologií Jet-cooling

V následujících tabulkách jsou uvedena jednotlivá nastavení teploty a chlazení formy, které bylo zapojeno dle schémat na obr. 30 až obr. 34.

Teplota formy probíhala pomocí zařízení Thermobiehl, kde jako temperační médium sloužila voda. Ta při vysokém tlaku mohla dosahovat teploty až 180°C. Parametry nastavené na tomto zařízení jsou patrné z tab. 7, jednotlivé okruhy jsou patrné z obr. 30 a 32.

**Tab. 7** Parametry temperačního zařízení Thermobiehl (horká voda)

Číslo	Okruh	Nastavení teploty [°C]
6	P6T-V6T – pevný rám + pevná vložka	80
9	komora – temperování	170
16	P16T-V16T – pohyblivý rám + vložky	80

Na zchlazení špatně chladitelných míst byla využita technologie Jet-cooling se studenou vodou při tlaku 20 bar. Parametry nastavení Jet-cooleru jsou popsány v tab. 8, jednotlivé okruhy jsou patrné z obr. 31 a 34.

**Tab. 8** Parametry Jet-cooleru (studená voda – 20 bar)

<i>Okruh</i>	<i>Zapojená jádra – pozice</i>	<i>Zpoždění startu [s]</i>	<i>Čas chlazení [s]</i>	<i>Pausa [s]</i>	<i>Čas vyfukování [s]</i>	<i>Čas před kontr. těsnosti [s]</i>
<i>A</i>	jádro 2.11	3	25	5	15	5
<i>B</i>	jádro 4.20	3	20	5	15	15
<i>C</i>	jádro 4.12	3	15	5	15	25
<i>D</i>	jádro 4.20	3	20	5	15	35

Parametry nastavené na zařízení ONI (voda 70°C) jsou patrné z tab. 9, jednotlivé okruhy jsou patrné z obr. 30, 31, 32, 33 a 34.

**Tab. 9** Parametry zařízení ONI (voda 70°C)

<i>Číslo</i>	<i>Okruh</i>	<i>Program</i>	<i>Čas [s]</i>
<i>1</i>	P1T-V1T – karter vršek (1, 2, 3)	TRVALE ZAP	-
<i>2</i>	P2-V2 – pevná vložka okolo komory	TRVALE ZAP	-
<i>3</i>	P3-V3 – jádro šavle z karteru pravá (2.7)	SEŘÍZENÍ	30
<i>4</i>	P2T-V2T – karter spodek (1, 2, 3)	TRVALE ZAP	-
<i>5</i>	P1-V1 – chlazení SQ (4x lož.)	TRVALE ZAP	-
<i>6</i>	P4-V4 – vakuum (levá, pravá)	TRVALE ZAP	-
<i>7</i>	P7-V7 – jádro šafle z karteru levá (2.7)	SEŘÍZENÍ	30
<i>12</i>	Píst	TRVALE ZAP	-
<i>13</i>	P13-V13 – vložka odpadu z hlavy	SEŘÍZENÍ	40
<i>14</i>	P14-V14 – 1. válec pro vložku od čela	TRVALE ZAP	-
<i>15</i>	P15-V15 – 2. válec pro vložku střed	TRVALE ZAP	-
<i>16</i>	P16-V16 – šavle pod vložkami	SEŘÍZENÍ	30
<i>23</i>	P23-V23 – jádro krátké ze spojky	SEŘÍZENÍ	15
<i>24</i>	P24-V24 – vložka odpadu z hlavy II.	SEŘÍZENÍ	20
<i>25</i>	P25-V25 – jádro hranaté z hlavy u spojky	SEŘÍZENÍ	10

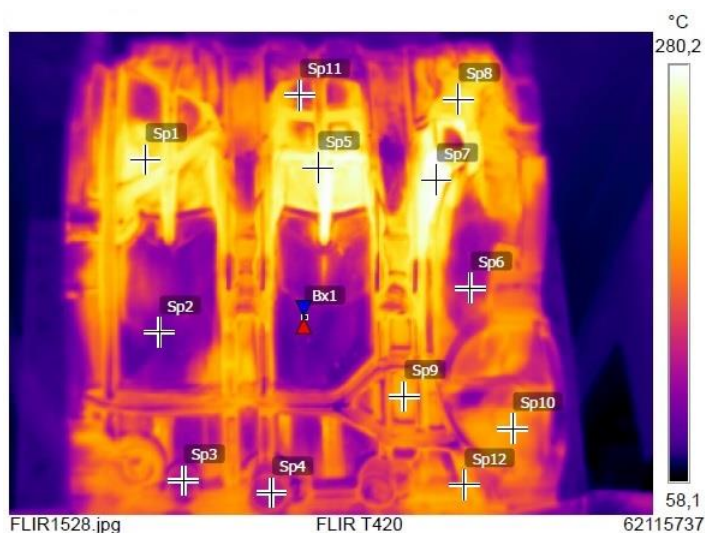
26	P26-V26 – 3. válec pro vložku	TRVALE ZAP	-
28	P28-V28 – spodní šoupě pod naříznutím	SEŘÍZENÍ	50
29	P29-V29 – šoupě spojka II.	SEŘÍZENÍ	50
30	P30-V30 – šoupě spojka I.	SEŘÍZENÍ	45
31	P31-V31 – šoupě spojka III.	SEŘÍZENÍ	40
32	P27-V27 – vložka tablety	TRVALE ZAP	-

Dalšími parametry jsou nastavení velkokapacitních okruhů též na zařízení ONI. Toto nastavení je v tab. 10, jednotlivé okruhy jsou patrné z obr. 31.

**Tab. 10** Parametry zařízení ONI s velkokapacitními okruhy (voda 70°C)

Okruh	Číslo	Program
P1-V1 – horní šoupě	1	TRVALE ZAP
P2-V2 – spodní šoupě	2	TRVALE ZAP
P3-V3 – šoupě čela	3	TRVALE ZAP

Díky těmto nastavením a této koncepci chlazení došlo k značnému vyrovnaní teplotního pole formy a poklesu teplot. Tyto teploty jsou patrné z následujících termosnímků (obr. 35 – 38). Tyto termosnímků byly pořízeny se shodnými parametry jako snímky před úpravou chlazení. Na obr. 35 je termosnímek spodního segmentu po úpravě chlazení.



**Obr. 35** Termosnímek spodního segmentu po úpravě chlazení

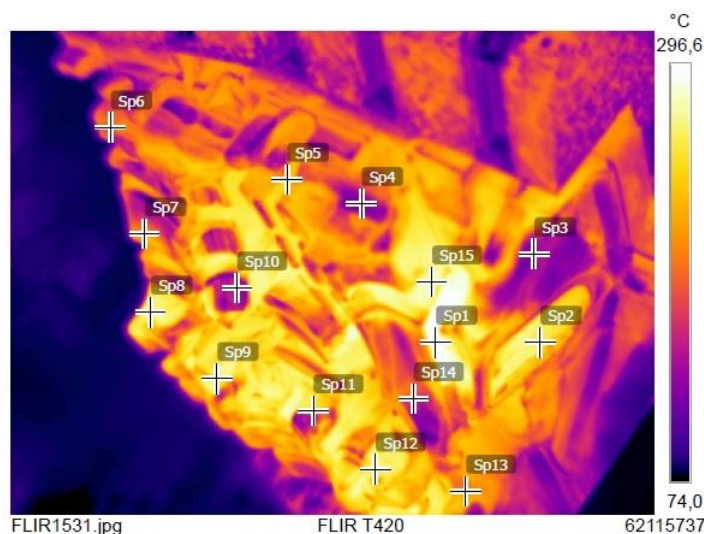
Teploty dosahované v jednotlivých oblastech spodního segmentu jsou zapsány v tab. 11. Nejvyšší teplota v této části byla v oblasti Sp7 (285°C).

**Tab. 11** Hodnoty teplot spodního segmentu po úpravě chlazení

Oblast	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp11	Sp12
Teplota [°C]	256	109	101	147	273	141	285	241	212	205	152	192

Úpravou chlazení tak došlo ke snížení nejvyšší teploty o 17°C z dřívějších 302°C na nyníjších 285°C. Obě tyto teploty byly dosaženy ve shodné oblasti, na obr. 25 označeno jako Sp9, nyní jako Sp7.

Na obr. 36 je termosnímek horního segmentu po úpravě chlazení.



**Obr. 36** Termosnímek horního segmentu po úpravě chlazení

Teploty dosahované v jednotlivých oblastech horního segmentu jsou zapsány v tab. 12. Nejvyšší teplota v této části byla v oblasti Sp1 (302°C).

**Tab. 12** Hodnoty teplot horního segmentu po úpravě chlazení

Oblast	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp11	Sp12	Sp13	Sp14	Sp15
Teplota [°C]	302	267	146	133	249	185	227	275	265	174	210	271	221	186	282

Úpravou chlazení tak došlo ke snížení nejvyšší teploty o 15°C z dřívějších 317°C (obr. 26) na nyníjších 302°C. Obě tyto teploty byly dosaženy ve shodné oblasti Sp1.



Na obr. 37 je termosnímek spojkového segmentu po úpravě chlazení.



**Obr. 37** Termosnímek spojkového segmentu po úpravě chlazení

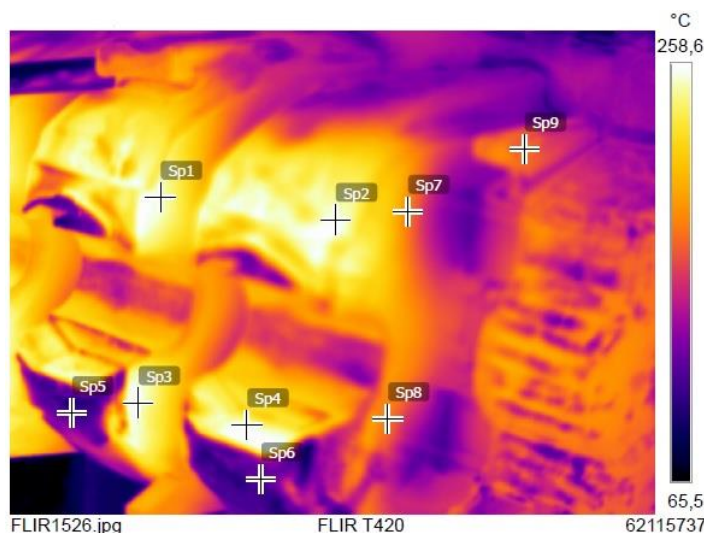
Teploty dosahované v jednotlivých oblastech spojkového segmentu jsou zapsány v tab. 13. Nejvyšší teplota v této části byla v oblasti Sp6 (324°C).

**Tab. 13** Hodnoty teplot spojkového segmentu po úpravě chlazení

Oblast	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp11	Sp12
Teplota [°C]	302	229	227	247	241	324	294	254	155	243	246	170

Úpravou chlazení tak došlo ke snížení nejvyšší teploty o 14°C z dřívějších 338°C na nyníšších 324°C. Obě tyto teploty byly dosaženy ve shodné oblasti – dříve označeno jako Sp2 (obr. 27), nyní jako Sp6.

Na obr. 38 je termosnímek pevné části, kde docházelo k výskytu nejvyšší teploty. Úpravou chlazení došlo v této oblasti ke snížení nejvyšší teploty o 95°C z dřívějších 349°C na nyníšších 255°C. Před úpravou chlazení byla nejvyšší teplota dosažena v oblasti Sp4, viz obr. 28, po úpravě je i v tomto případě v této oblasti teplota velmi vysoká, je pouze o 1°C nižší než v oblasti Sp3, kde nyní dochází k výskytu nejvyšší teploty. V oblasti Sp4 tedy došlo ke snížení teploty o 96°C. Nynější oblast Sp3 (na obr. 28 označeno Sp8) dostahovala před úpravou chlazení teploty 322°C, v této oblasti tedy došlo k poklesu teploty o 68°C.



**Obr. 38** Termosnímek pevné části po úpravě chlazení

Teploty dosahované v jednotlivých oblastech pevné části jsou zapsány v tab. 14. Nejvyšší teplota v této části byla v oblasti Sp3 (254°C).

**Tab. 14** Hodnoty teplot pevné poloviny po úpravě chlazení

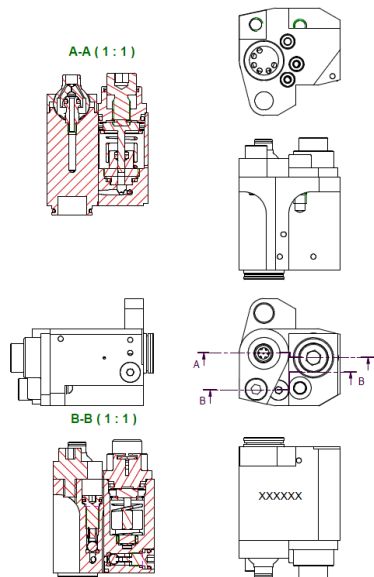
Oblast	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9
Teplota [°C]	253	255	254	253	125	135	200	197	195

### 3.3 Ošetření líce tlakové licí formy pomocí mikropostřiku

Původní konvenční technologie ošetření líce formy používala vodou ředitelný prostředek Chem-Trend® SL-7732, který byl ředěn v poměru 1:80. Spotřebované množství takto naředěného prostředku na jeden cyklus bylo 6 l. Tento způsob ošetření líce formy byl nahrazen novou technologií ošetření líce formy pomocí mikropostřiku. K ošetření je rovněž použit prostředek od firmy Chemtrend, konkrétně prostředek s typovým označením Chem-Trend® SL-8801 HERA™ (High Efficiency Release Agent). Jedná se o prostředek na vodní bázi, který již však dále není vodou ředitelný, dochází tak pouze k nánosu velmi malého množství koncentráту. Samotný přípravek je pak bílá lehce kyselá tekutina. K aplikaci tohoto prostředku se používá automatický postřikovací systém. Ten se skládá z obslužného robota ABB, který nese postřikovou hlavu. Hlava i další periferie (dávkovací zařízení) využívaná v seriové výrobě jsou od firmy Wollin.



Tato hlava se skládá z impulzně řízených dávkovacích trysek řady DD s přesně definovaným objemem rozprášeného separátoru, kdy každá tryska má svůj vlastní zásobník, který se naplní dělicím prostředkem a při otevření trysky dojde k jeho vyprázdnění. Schéma DD trysky je na obr. 39.



**Obr. 39** Schematické znázornění DD trysky

Velikost jedné dávky je plynule nastavitelná v rozmezí 0 – 0,075 ml na jeden impuls. Velikost této dávky je tím pádem nezávislá na tlaku vzduchu a tlaku mazadla. Ze známého počtu trysek a jejich objemu pak lze stanovit množství spotřebovaného separačního prostředku na jeden impuls, případně z počtu impulsů o celkové množství spotřebované na jeden lící cyklus. Doba jednoho cyklu trysky je 0,2 s.

Prvotní návrh ošetřovací hlavy, která je řešena jako modulární systém, byl proveden dodavatelem na základě 3D modelu formy. V průběhu prvotních zkoušek a následné optimalizace technologie mikropostřiku došlo k úpravám této hlavy. Tyto úpravy jsou popsány dále v této kapitole.

Při samotném uvedení do zkušebního provozu se pak jako problém při nanášení prostředku HERA™ pomocí hlavy Wollin ukázalo být ne zcela optimální spojení součástí od dvou různých výrobců. Konkrétně pak již zmíněné hlavy a dávkovacího zařízení od společnosti AED, které bylo na lící buňce C6 instalováno pro potřeby ošetření líce formy konvenční technologií, která zde probíhala před zavedením technologie mikropostřiku. Vlivem přechodu půl coullové hadice na trubičky s průměrem 6 mm docházelo k velkým ztrátám

tlaku vzduchu. Toto problémové spojení je patrné z obr. 40. Tento problém nebylo možno ihned odstranit, neboť byla zapotřebí výměna celého směšovacího zařízení.



**Obr. 40** Nevhodné spojení systému AED se systémem Wollin

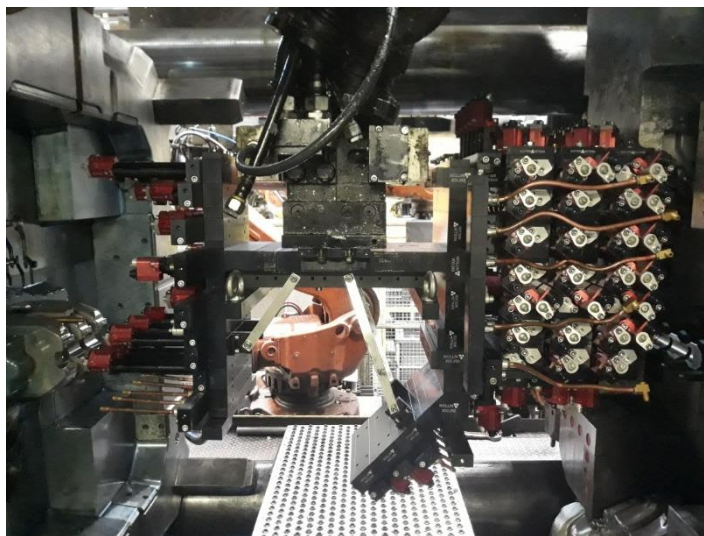
Jak již bylo zmíněno v části týkající se chlazení formy, docházelo zprvu k nalepování kovu na formu, které bylo způsobeno jak nedostatečným chlazením formy, tak i jejím nedostatečným namazáním. V některých místech formy naopak v průběhu dalších úprav docházelo k přemazávání. Tyto problémy byly přičítány problémům s tlakem vzduchu. V místech, kde docházelo k nedostatečnému namazání formy, byl zvýšen počet impulzů z jednoho na dva, čímž došlo k nanesení dvojnásobného množství separátoru do těchto míst. Dále byly do těchto míst přidány trysky.

Nedostatečné ošetření oblasti spodního segmentu bloku bylo odstraněno přidáním trysek na spodní část hlavy. Úprava trysek hlavy pro oblast spodního segmentu je znázorněna na obr. 41.



**Obr. 41** Výměna trysek na spodním segmentu

K mírnému nalepování tvarové vložky vlivem nedostatečného namazání docházelo i na horním segmentu. I zde proto došlo k úpravě hlavy a to konkrétně přidání jedné trysky. Výsledná podoba hlavy po provedení všech úprav je na obr. 42.

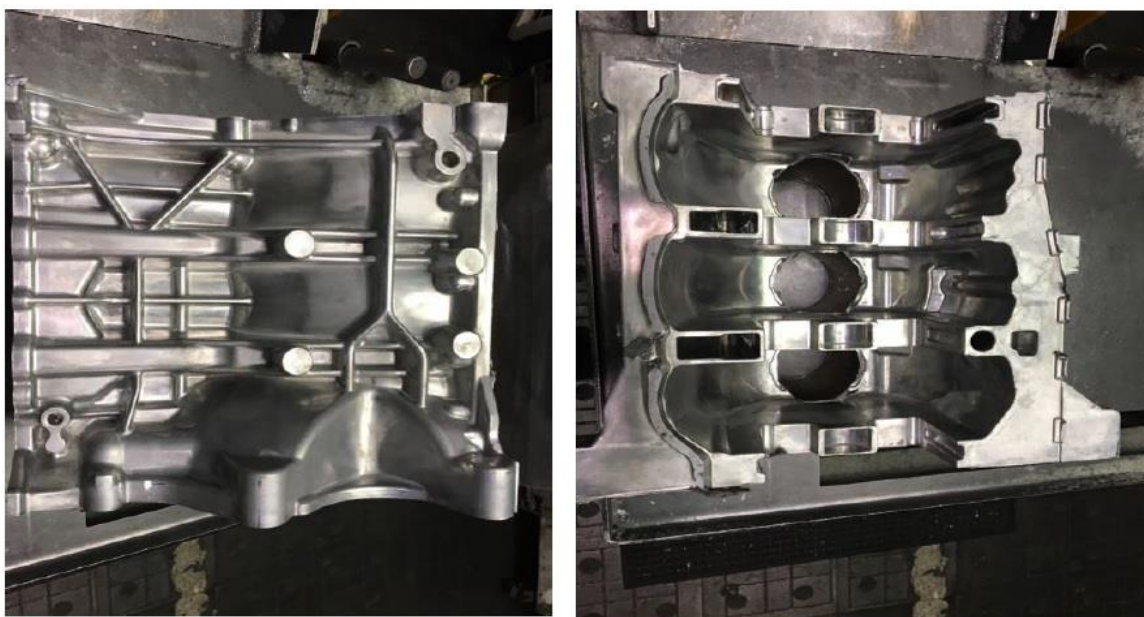


**Obr. 42** Postřiková hlava Wollin užívaná v sériové výrobě

Těmito kroky, spolu s úpravou chlazení, došlo ke snížení zadíraní odlitku. Spotřeba dělicího prostředku HERA™ byla v této fázi procesu 22 ml a čas licího cyklu 127 s.

Dále bylo potřeba odstranit již zmíněný problém se ztrátou tlaku při spojení směšovací nádoby AED s hlavou Wollin. Došlo tedy k výměně směšovacího zařízení AED za směšovací zařízení Wollin OSA2 vhodného pro sériovou výrobu. Tímto krokem došlo k výraznému zlepšení tlaku vzduchu. Dávkovacímu zařízení Wollin stačí k ovládání všech tysek pouze tlak 1,2 bar, oproti tlaku 3 bar potřebných u zařízení AED. Problémům s tlakem bylo již od začátku přičítáno špatné namazání některých částí formy.

Ani tento krok ovšem nevedl ke zcela optimálním výsledkům, neboť stále docházelo k přemazávání pevné vložky. Bylo tak rozhodnuto, že dojde k úpravě programu mazání této části formy a sníží se počet mazacích impulsů ze dvou pouze na jeden impuls, což bylo nastaveno původně. Tímto krokem došlo k odstranění problému s přemazáváním pevné vložky. Zároveň tak došlo ke zkrácení času nanášení dělicího prostředku a i jeho úspoře. Při konečném tlaku 1 bar na směšovacím zařízení Wollin tak bylo dosaženo konečných hodnot, kdy se celkový čas cyklu povedlo snížit na 118 s a množství spotřebovaného koncentráту HERA™ na 16,5 ml. S těmito hodnotami na jeden cyklus již probíhá sériová výroba. Fotografie takto vyrobeného bloku je na obr. 43.



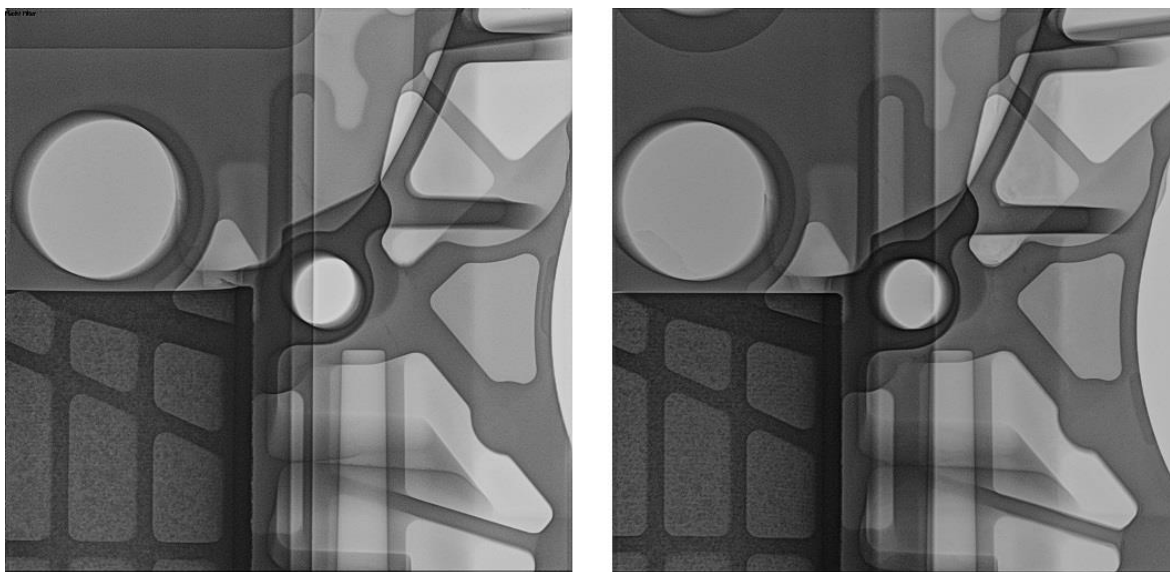
*Obr. 43 Foto odlitku ze sériové výroby*

### **3.4 Analýza zmetkovitosti**

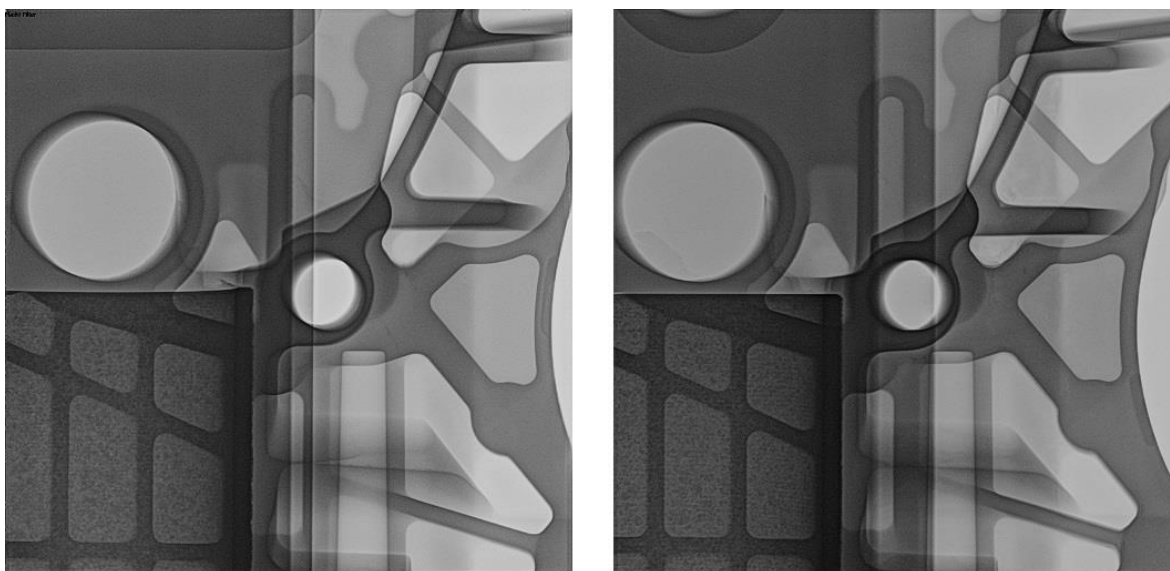
Hlavním cílem této práce bylo zjištění zmetkovitosti v závislosti na technologii ošetření a tedy faktu, zda nová technologie vedla ke snížení zmetkovitosti odlitku, což bylo důvodem pro její zavedení. V poslední fázi experimentu byla provedena analýza dat týkajících se zmetkovitosti odlitků bloku odlévaných v sériové výrobě.

Odlévání i následné obrábění probíhalo v závodě Škoda Auto v Mladé Boleslavi. První kontrola bloku nastává ještě v rámci licí buňky, kdy je kontrolována celistvost odlitku. Další fáze kontroly pak probíhají ještě v areálu slévárny, kde dochází namátkově k rentgenové kontrole odlitků. Takto kontrolovaný odlitek je nejprve rozřezán a následně je provedeno RTG snímkování. Na základě těchto snímků pak dojde k hodnocení vnitřní porezity odlitku. Rentgenové hodnocení kvality odlitků neprokázalo významné rozdíly mezi oběma technologiemi ošetření. Na obr. 44 a 45 jsou pro příklad uvedeny RTG snímky shodných oblastí bloku odlitého pomocí konvenční technologie a pomocí technologie mikropostřiku.





**Obr. 44** Snímky totožné oblasti bloku, vlevo konvenční technologie, vpravo mikropostřik

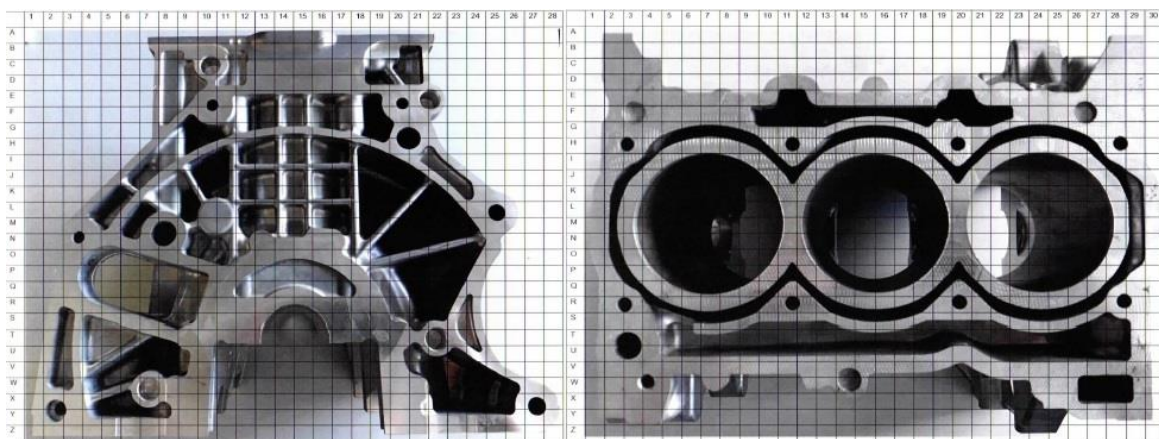


**Obr. 45** Snímky totožné oblasti bloku, vlevo konvenční technologie, vpravo mikropostřik

V případě zjištění výskytu vady na odlitku je tento odlitek označen jako neshodný díl (ND) a je vyloučen z dalšího procesu kontroly a obrábění. Jak již bylo zmíněno výše, prvotní kontrola probíhá ještě v areálu slévárny. Díly, které jsou vyřazeny ve slévárně jsou označeny jako interní ND. Zbytek nalitých kusů je označen jako shodný kus a putuje do dalších fází obrábění.

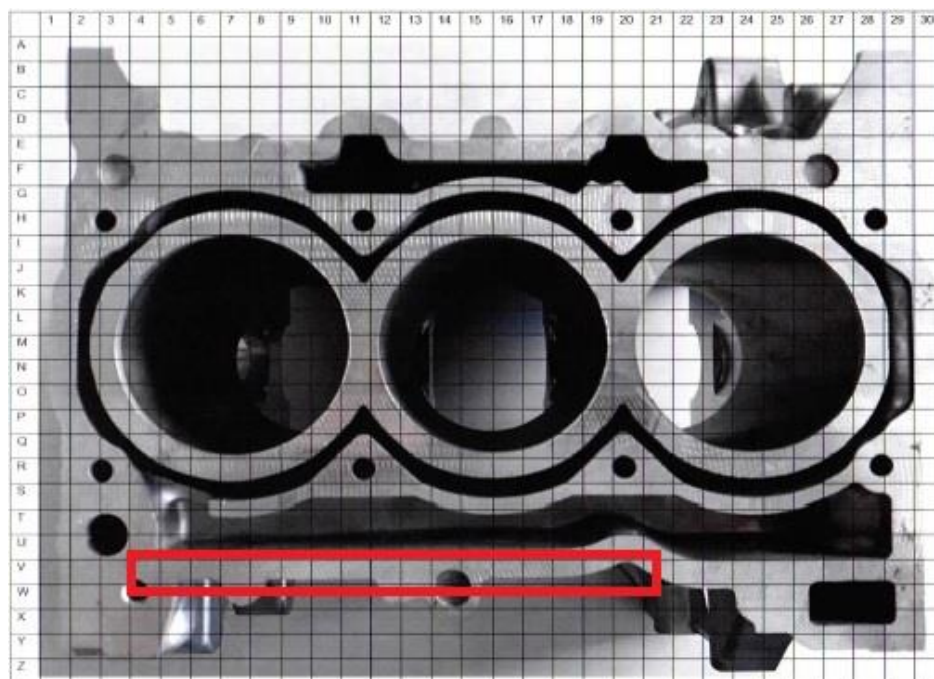
Při obrábění může dojít k výskytu vad, které do té doby nebyly zřejmé. Tyto díly jsou pak označovány jako externí ND. Evidence neshodných kusů tedy probíhá jak na slévárně, tak i při obrábění. Z celkového počtu nalitých kusů pak po odečtení obou těchto hodnot (externí a interní ND) získáme celkový počet shodných kusů.

Při konečné fázi obrábění a kontroly bloku probíhala evidence dat týkající se oblastí, kde dochází nejčastěji k výskytu vad. Tyto vady lze rozdělit dle závažnosti porušení bloku na vady opravitelné tmelením (blok je tedy dále považován za shodný díl) a na vady, jež opravit nelze (blok je vyloučen – ND). Zde bylo v případě zjištění výskytu problému v některé části bloku evidováno, kde přesně k výskytu problému došlo a pomocí jaké technologie byl daný kus vyroben. Toto bylo následně zakresleno a zapsáno do připravených archů, viz obr 46. Jedná se o fotografii vybraného segmentu bloku, která byla pomocí písmen a čísel rozdělna na 780 oblastí. Do těchto oblastí pak byl zakreslován problém s porezitou s doplněním informace, zda bylo možno tento problém opravit tmelením, či nikoliv.

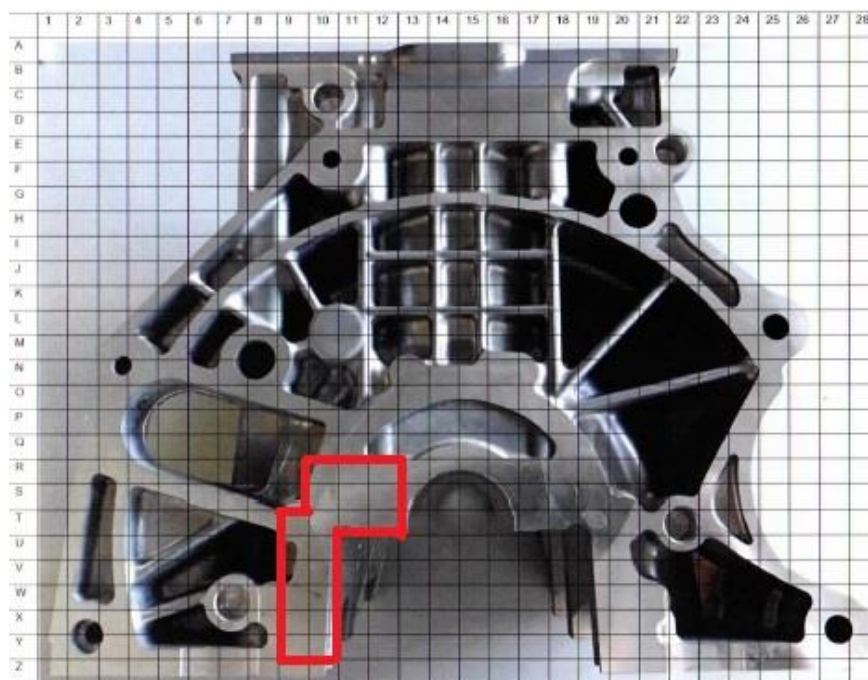


*Obr. 46 Arch pro zazaménávání výskuty vad odlitku*

Při konečné fázi obrábění tedy docházelo ke sledování oblastí, kde dochází k nejčastějšímu výskytu vad, které bylo možno opravit tmelením. Oblasti s nejčastějším výskytem vad jsou zobrazeny v následných archích. U konvenční technologie docházelo k výskytu vad jak v oblasti hlavy bloku, tak i v oblasti příruby spojky. U technologie mikropostřiku došlo k částečné eliminaci výskytu vad v oblasti hlavy bloku a i zmenšení oblasti výskytu vad na přírubě spojky. Tento fakt znamená značný přínos, neboť vady v oblasti příruby spojky lze narozdíl od vad v oblasti hlavy bloku snadněji opravit. Oblast výskytu vad na hlavě bloku u konvenční technologie je zobrazena na obr. 47, v oblasti spojky u téže technologie pak na obr. 48. Oblast výskytu vad na přírubě spojky u technologie mikropostřiku je na obr. 49.

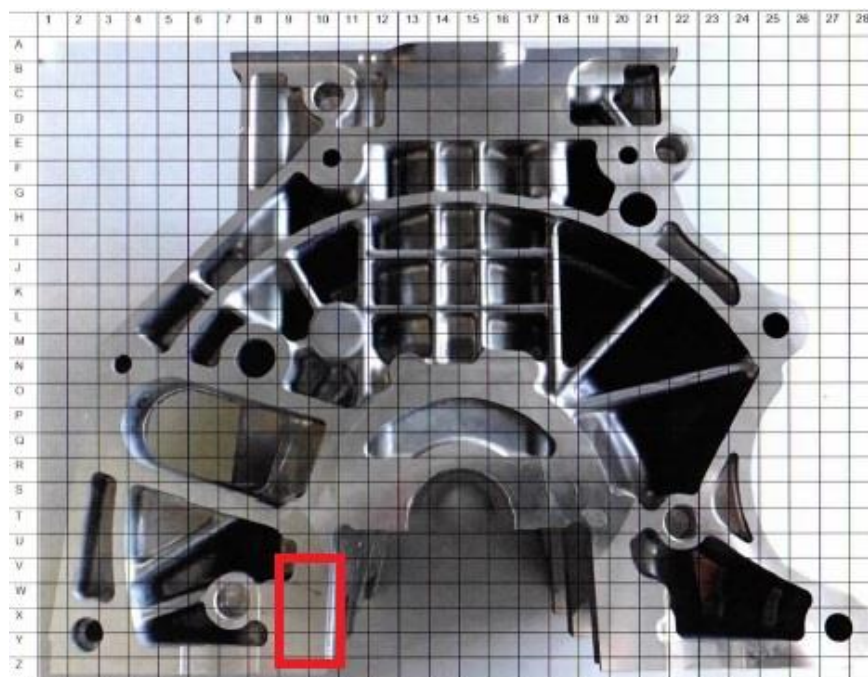


**Obr. 47** Vyznačení oblasti s nejvyšším výskytem vad hlavy bloku u konvenční technologie



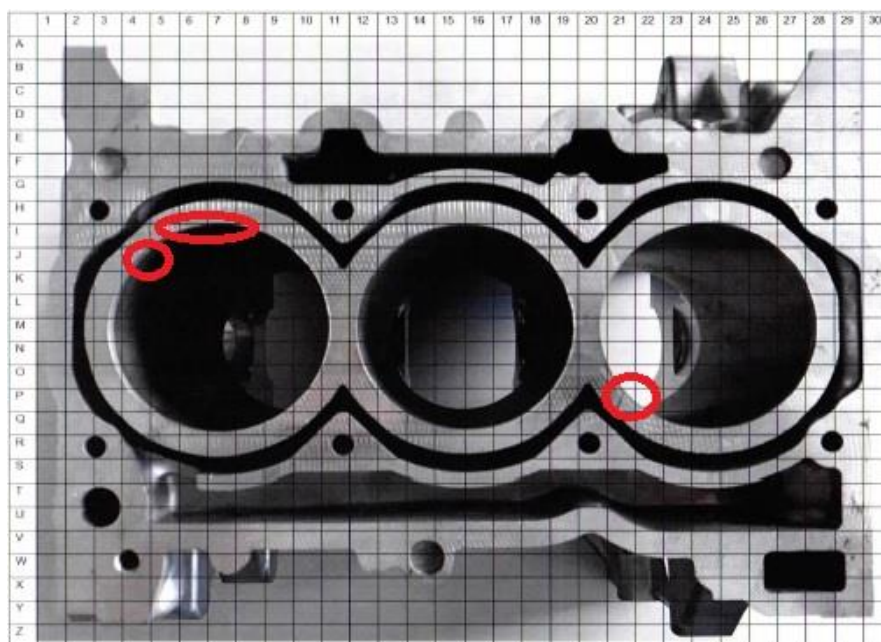
**Obr. 48** Vyznačení oblasti s nejvyšším výskytem vad příruby spojky u konvenční technologie





***Obr. 49** Vyznačení oblasti s nejvyšším výskytem vad příruby spojky u technologie mikropostřiku*

Jak již bylo popsáno výše, docházelo k častému výskytu vad v oblasti hlavy bloku u konvenční technologie ošetření formy. Pokud se vady vyskytovaly v oblasti válce, nebylo možno je opravit tmelením a takto poškozený kus bylo nutné vyřadit – ND. Tyto vady se objevovaly především na hraně válce, kdy došlo ke stržení hrany válce nebo výskytu porezity na hraně válce. Vyznačení oblasti s výskytem tohoto problému je na obr. 50.





**Obr. 50** Vyznačení oblasti s nejvyšším výskytem neopravitelných vad hlavy bloku u konvenční technologie

Nejčastěji docházelo k výskytu vad v oblastech ohraničených čísly 4 až 8 a písmeny H a J. V ostatních oblastech nebyl výskyt vad nijak častý.

Výsledným kritériem je tedy celková zmetkovitost vybrané technologie ošetření líce formy. Tu získáme z celkového počtu nalitých kusů po odečtení všech vyřazených kusů (interní a externí ND). Procentuální podíl shodných kusů té či oné technologie získáme jako podíl počtu shodných kusů k počtu nalitých kusů. Výsledným sledovaným kritériem je tedy poměr shodných dílů ku počtu nalitých dílů. V tab. 15 a 16 je uveden počet kusů bloku motoru 1.0. MPI EVO odlitých jak pomocí konvenční technologie, tak i pomocí technologie mikropostřiku, kdy odlévání pomocí konvenční technologie probíhalo na formách č. 51 a č. 52, pomocí mikropostřiku pak na formách č. 1 a č. 2.

**Tab. 15** Shodné a neshodné kusy forma č. 51 a č.52

*Formy č. 51 a č. 52*

	nalito	interní ND	externí ND	shodné
<i>forma č. 51</i>	31774	743	613	30418
<i>forma č.52</i>	25621	449	721	24451
<i>celkem</i>	57395	1192	1334	54869

**Tab. 16** Shodné a neshodné kusy forma č. 1 a č.2

*Formy č. 1 a č. 2*

	nalito	interní ND	externí ND	shodné
<i>forma č. 1</i>	30337	444	437	29456
<i>forma č.2</i>	9236	87	53	9096
<i>celkem</i>	39573	531	490	38552

Z uvedených dat je patrné, že při použití konvenční technologie je shodných 95,6% nalitých kusů, oproti 97,4% shodných kusů u technologie mikropostřiku. Je zde tak zlepšení o 1,8% ve prospěch nové technologie.

## 4. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Jak již bylo uvedeno, důležitým předpokladem výroby kvalitních odlitků jsou tepelné poměry v tlakové lící formě. V důsledku nevyhovující teploty líce formy může dojít k rychlejšímu ztuhnutí taveniny a následně tak mohou vznikat vady (studené spoje, nedolití, závaly, staženiny, vnitřní pnutí). Naopak v případě přehřívání některých míst dochází v těchto místech k nalepování taveniny, což vede jednak k nutnosti častějšího čištění líce formy a jednak může vést ke zvýšení porezity odlitku v těchto oblastech.

Tepelné poměry v tlakové lící formě jsou ovlivněny zejména temperačním systémem a způsobem ošetření jejího líce. V průmyslové praxi je nejčastěji aplikován způsob, který pro ošetření líce formy používá separační prostředek v určitém poměru ředitelný vodou. Problematické zde může být správné stanovení množství použitého separátoru, aby nedocházelo na jedné straně k nalepování taveniny na líc formy a na druhé straně v dutině formy nezůstávala voda, která následně vede ke zvýšení porezity odlitků. Při aplikaci tohoto separátoru je totiž část vody odpařena a část vody po lici formy stéká dolů.

Teplo odvedené postřikem líce formy může v případě postřiku na vodní bázi tvořit značný podíl z celkového tepla odvedeného z formy. Podíl takto odvedeného tepla může být v řádu až desítek procent.

V současné době je snaha nahradit tento nejrozšířenější způsob ošetření líce formy novým způsobem ošetření, tzv. mikropostřikem, který využívá koncentráту dělicího prostředku dále neředěného vodou. Nasazení technologie mikropostřiku bylo mělo vést ke snížení zmetkovitosti odlitku, resp. snížení vnitřní porezity v důsledku absence ředící vody. Kromě snížení porezity výrobce uvádí řadu dalších výhod a to zejména zkrácení času nanášení dělicího prostředku (tím i celého liciho cyklu), snížení výskytu koroze na formě a v jejím okolí (v důsledku absence vody), dále pak zvýšení životnosti formy a snížení ekologické zátěže.

Zavedením a optimalizací nového způsobu ošetření líce formy byla zkrácena doba liciho cyklu a sníženo množství použitého separátoru. Lící cyklus se podařilo zkrátit o 9 s již samotným zavedením nové technologie do procesu lití. Následnou optimalizací procesu nanášení dělicího prostředku pak došlo k dalšímu zkrácení tohoto času o dalších 9 s. Celkově tedy došlo ke zkrácení liciho cyklu z původních 136 s při použití konvenčního způsobu ošetření líce formy na konečných 118 s po optimalizaci mikropostřiku. K tomuto snížení

došlo v důsledku kratší doby potřebné k nanesení dělicího prostředku, a dále pak snížením času potřebného k ofouknutí formy. V případě konvenční technologie dochází k ofukování přebytečného separátoru z povrchu formy, v případě technologie mikropostřiku dojde jen k ofuku za účelem lepšího rozprášení separátoru na povrch formy v době, kdy ošetřovací hlava vyjíždí z formy.

Jak již bylo zmíněno, došlo ke snížení času nanášení dělicího prostředku, tento čas úzce souvisí s množstvím naneseného dělicího prostředku na jeden cyklus, kdy v případě konvenční technologie docházelo k nanesení 6 l koncentráту separátoru ředěného vodou v poměru 1:80, oproti pouhým 16,5 ml koncentráту separátoru v případě technologie mikropostřiku.

V případě nanášení dělicího prostředku u technologie mikropostřiku nedochází k úkapům do formy, jako je tomu při použití konvenční technologie, tím tak dochází k zaručení spolehlivosti procesu nanášení dělicího prostředku. Tento fakt se krom samotného zvýšení spolehlivosti podílý do značné míry i na snížení ekologické zátěže při využití nové technologie. Jelikož veškeré množství separátoru ulpívá na ploše formy a nedochází tak ke stoku separátoru do odpadu pod formu, což u konvenční technologie představuje ekologickou zátěž, neboť množství separátoru, které steče z formy do odpadu, je nutné likvidovat.

Jako další výhoda této technologie se ukázal fakt, že i po nalití počtu kusů u vedených v tab. 16 nebylo zpotřebí postřikovou hlavu čistit nebo provést výměnu trysek.

Analýza zmetkovitosti prokázala, že zavedení nového způsobu ošetření líce formy vedlo ke snížení zmetkovitosti odlitku o 1,8 %. Toto zlepšení je dle mého názoru zapříčiněno především eliminací výskytu problémů v oblasti hlavy bloku, protože problémy v této oblasti nelze velmi často opravit a takto poškozený kus musí být vyrazen, viz kapitola 3.4.

Posledním sledovaným parametrem je pak z dlouhodobého hlediska zvýšení životnosti formy, které se však projeví až po nalití většího počtu kusů. Předpokládá se, že i tento přínos se povede naplnit, neboť jak již bylo popsáno výše, u této technologie nedochází k ochlazování formy postřikovou vodou a nedochází tak ke značným teplotním rázům, které vedou ke snížení životnosti formy. Na základě tohoto faktu by tedy mělo dojít k jejímu zvýšení. Tento fakt by pak představoval spíše ekonomický přínos, neboť na kvalitě odlitku se životnost formy výrazně neprojeví za předpokladu, že nedochází k odlévání na již

poškozené formě, což by vedlo k výskytu povrchových vad odlitku. Celkový ekonomický přínos zavedení nové technologie do sériové výroby není uveden, neboť tato data nejsou společností Škoda Auto poskytována.

,

## 5. ZÁVĚR

Cílem této práce byla analýza vlivu mikropostřiku na výslednou kvalitu odlitku bloku motoru 1,0 MPI EVO. Práce vznikla ve spolupráci se společností Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav.

Předložená práce je rozdělena do dvou hlavních částí, teoretické a experimentální.

Teoretická část se v úvodních kapitolách zabývá obecným popisem principu tlakového lití a konstrukcí tlakové lící formy. Vzhledem k problematice řešené v experimentu je hlavní pozornost věnována temperaturaci a způsobu chlazení tenkých jader a výstupků tvarových vložek. Dále je zde popsána tepelná bilance formy. Samostatná kapitola je potom věnována způsobům ošetření líce formy. Zde je popsán jak konvenční způsob ošetření, tak nově zaváděná metoda ošetření pomocí mikropostřiku.

Experimentální část se věnuje popisu experimentu. Na úvod této části je popsána lící buňka s interním označením C6, na které probíhalo lití již zmíněného bloku motoru. Konvenční způsob ošetření byl u této formy nahrazen novým způsobem, tzv. mikropostřikem. V rámci experimentální části práce jsou popsány úpravy a změny na temperaturaci a chlazení, které bylo nutné provést, aby forma vyhovovala novému způsobu ošetření mikropostřikem. Dále je popsána postřiková hlava a soubor úprav, které bylo na této hlavě nutné provést, aby došlo k optimalizaci celého procesu a bylo možné používat tuto technologii v sériové výrobě.

Po provedení všech úprav na konstrukci chladicího systému formy a postřikové hlavy bylo dosaženo jednoznačně lepších výsledků s technologií mikropostřiku oproti stávající konvenční technologii. Zmetkovitost klesla o 1,8%.

Dalším očekávaným přínosem bylo zkrácení lícího cyklu stroje. I toto očekávání se povedlo naplnit, když délka cyklu byla snížena o 18 sekund z původních 136 sekund při použití konvenční technologie na 118 sekund při použití technologie mikropostřiku. Došlo i ke snížení množství použitého separátoru. Při použití konvenční technologie ošetření líce formy separátorem Chem -Trend SL-7732 ředěným vodou v poměru 1:80 byla spotřeba naředěného dělicího prostředku 6 l. Po optimalizaci technologie mikropostřiku byla spotřeba koncentráту prostředku Chem -Trend SL-8801 HERA™ 16,5 ml. Došlo tak tedy i ke snížení ekologické zátěže, neboť odpadl problém s nutností likvidace prostředku, který se neodpaří z líce formy a po lící formy stéká do odpadu pod ní. Posledním očekávaným přínosem této

technologie je zvýšení životnosti formy, které bude možné stanovit až po nalití většího počtu kusů.

V případě provádění dalších optimalizací či zapojování nových technologií do výroby, bych společnosti doporučil podrobnější evidenci dat. V současné době jsou na slévárně odlitky označovány DMC kódem, ze kterého je možné určit datum výroby, číslo formy, technologické parametry výroby, atd. Vzhledem k tomu, že na obrobě není tento kód načítán, nelze na základě stávajících dostupných dat stanovit v průběhu výroby zmetkovitost a počet opravovaných odlitků v závislosti na použité technologii ošetření formy. To lze až po obrobení všech nalitých kusů.

## Seznam použité literatury

- [1] MICHNA, Š. 2005. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions. ISBN 80-890-4188-4.
- [2] VINARCIK, E. J. *High integrity die casting processes*. New York: John Wiley, 2003, 223 s. ISBN 04-712-0131-6.
- [3] MICHNA, Š. [online]. Progresivní technologie odlévání [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: [http://www.stefanmichna.com/prograsivni\\_technologie/progresivni\\_technologie\\_odlevani.pdf](http://www.stefanmichna.com/prograsivni_technologie/progresivni_technologie_odlevani.pdf)
- [4] LAUKLI, H. I. High Pressure Die Casting of Aluminium and Magnesium Alloys- Grain Structure and Segregation Characteristics [online]. Trondheim, 2004 [cit. 2019-04-02]. ISBN 82-471-6323-3.  
Dostupné z: <http://ntnu.divaportal.org/smash/get/diva2:125090/FULLTEXT01.pdf>
- [5] RAGAN, E et. al. *Liatie kovov pod tlakom*. 1.vyd., Prešov, 2007. ISBN 978-80-8073-979-9.
- [6] Die Casting. Custompart.net [online]. © 2014 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/die-casting>
- [7] HORÁČEK, M. Vysokotlaké lití [prezentace]. [cit. 2019-04-01].
- [8] Thermobiehl Apparatebau GmbH. Topná a chladicí zařízení. Gladbeck; 6 s.
- [9] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [10] NĚMEC, M., B. BEDNÁŘ a B. BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. Praha: České vysoké učení technické, 2009, 217 s. ISBN 978-80-01-04395-0.
- [11] NOVÁ, I, et al. *Charakteristika, vlastnosti, metalurgie a použití slévárenských slitin hliníku*. Liberec, 2006
- [12] REMEŠ, J. *Problematika teplotního režimu forem a využití zbytkového tepla v technologiích lití pod tlakem*. Praha, 2007. České Vysoké Učení Technické v Praze. Vedoucí práce A. Herman.

- [13] ŠTIPL, P, 2014. *Technologie lití vysokotlakých odlitků a vlivy působící na jejich kvalitu.* Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. J. Roučka, CSc.
- [14] ŠUSTR, J. Formy pro tlakové lití. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2005, roč. 53, č. 2-3, s. 90-91.
- [15] KOLMAČKA, M. *Technologie odlévání slitin hliníku - Kovolit*. 2012, 10 s.
- [16] SKALICKÝ, Z. Formy pro tlakové lití. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. 56, č. 1-2, s. 27-28.
- [17] ŠEBESTA, 2018. Lethiguel. *Sebestasro.cz* [online]. Brno: Společnost Šebesta [cit. 2019-06-21]. Dostupné z: <http://www.sebestasro.cz/cz/dodavatele/lethiguel>
- [18] FRANZ, P. *Termoregulace nástrojů pro tlakové lití a tenkých jader, cesta k provozním úsporám*. Německo, 2014.
- [19] SCHWAM, D. *Improved Die Casting Process to Preserve the Life of the Inserts* [online]. Cleveland, OH 44106, 2012 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: [http://www.esmarrt.org/finalreports/task3\\_4\\_improveddiecastingprocess.pdf](http://www.esmarrt.org/finalreports/task3_4_improveddiecastingprocess.pdf).
- [20] ENGELHORN, G. Automatizovaný postřik forem. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008, roč. 56, č. 3-4, s. 147-148.
- [21] GRAFF, J. a L. KALLIEN. *The Effect of Die Lubricant Spray on the Thermal Balance of Dies* [online]. Cleveland, USA, 1993, 26 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: [http://dev.chemtrend.com/sites/default/files/brochures/the\\_effect\\_of\\_die\\_lubricant\\_s\\_pray\\_on\\_the\\_thermal\\_balance\\_of\\_dies\\_en\\_v1.pdf](http://dev.chemtrend.com/sites/default/files/brochures/the_effect_of_die_lubricant_s_pray_on_the_thermal_balance_of_dies_en_v1.pdf)
- [22] NATESH, G. *Aluminium die casting: lubrication technology and trends* [online]. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: [http://www.chemtrend.com/resources/technical\\_articles\\_papers/aluminium\\_die\\_casting\\_lubrication\\_technology\\_and\\_trends](http://www.chemtrend.com/resources/technical_articles_papers/aluminium_die_casting_lubrication_technology_and_trends)
- [23] ANDRESEN, B. *Die casting engineering: a hydraulic, thermal, and mechanical process*. New York: Marcel Dekker, c2005. ISBN 0-8247-5935-4



- [24] RAMPI, G. Release agents for die casting: general aspects and state of the art. *Edimet* [online]. 2001, 9 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.hillandgriffith.com/die-casting-news/release-agents-for-die-casting>
- [25] WOLLIN, 2017. DIE SPRAYING. In: *Wollin.de* [online]. Lorch: Wollin [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.wollin.de/en/wollin-gmbh/die-spraying.html>
- [26] Jet cooling: Lethiguel. In: Šebesta-slужby slévárnám: Zasedání odborné komise lití pod tlakem: Škoda Auto [online]. Brno. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: [www.sebestasro.cz/cz/get.php?id=221](http://www.sebestasro.cz/cz/get.php?id=221)
- [27] GÜNTER, E. WOLLIN GmbH. Školení postříku, 2008, 35s.
- [28] ŠMÍD, R. Konstrukce formy pro tlakové lití. Plzeň, 2015. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. M. Hynek Ph.D.
- [29] NOVÁKOVÁ, I. Nekonenční způsob chlazení kritických oblastí tvarových částí tlakových licích forem. Liberec, 2015, 18 s. Výzkumná zpráva. Technická univerzita v Liberci.
- [30] HYNEK, M. a kol. Temperace vstřikovacích forem [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Temperace\\_vstrikovacich\\_forem.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf).
- [31] NOVÁ, I. Přenos tepla ve slévárenských formách. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-141-2.
- [32] DRÁBEK, M. *Teplotní režim tlakové licí formy při odlévání slitin hliníku na bázi Al-Si*. Liberec, 2005. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní. Vedoucí práce prof. Ing. I. Nová, CSc.
- [33] ŠTROBACH, V. *Vliv teplotních režimů formy na jakost vysokotlakých odlitků*. Liberec, 2011. Doktorská disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [34] BOHLER UDDEHOLM. UDDEHOLM: Katalog DIEVAR [online]. [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <http://www.uddeholm.cz/czech/files/dievar.pdf>
- [35] HYNEK, M. 2014. Tlakové lití hliníku. Plzeň. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK\\_PU/KA\\_01\\_publikace/KA01-Tlakove-liti-hliniku.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_01_publikace/KA01-Tlakove-liti-hliniku.pdf)